

С. Рычков

**Анализ и проектирование рамных конструкций на
основе параметризованных расчетных моделей**

Гепард-А

Версия 4.1-19

Руководство пользователя



Самара 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. РАМЫ ТИПОВОЙ И ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ	8
1.1. Типовые рамы	8
1.2. Рамы произвольной конфигурации	15
2. КАРКАС ЗДАНИЯ.....	17
2.1. Последовательность создания каркаса здания	17
3. ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	19
3.1. Главное окно	19
3.2. Объекты данных модели	20
3.3. Графический выбор объектов	21
3.4. Единицы измерения.....	21
3.5. Операции с файлами – меню Файл.....	21
3.6. Меню Инструменты.....	25
3.7. Команды работы с каркасом здания	32
4. СОЗДАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ – МЕНЮ ГЕОМЕТРИЯ.....	34
4.1. Создание геометрии типовой рамы	34
4.2. Подстропильные балки.....	36
4.3. Фахверки.....	36
4.4. Создание геометрии произвольной рамы	38
4.5. Дополнительные сечения, ребра и сечения разбивки.....	40
5. РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ	44
5.1. Статические нагрузки	47
5.1.1. Типовые загрузки	47
5.1.2. Задание дополнительных нагрузок	50
5.1.3. Крановые загрузки	52
5.1.4. Пример отчета по заданию крановых нагрузок от опорных кранов	53
5.1.5. Пример отчета по заданию крановых нагрузок от подвесных кранов.....	55
5.1.5. Произвольные загрузки	58
5.2. Сосредоточенные массы	59

5.3. Закрепления	60
5.4. Шарниры	60
5.5. Функции.....	61
5.6. Сейсмические нагрузки	62
5.5.1. Методика расчета на сейсмические нагрузки.....	62
5.5.2. Пример выполнения расчета на сейсмические нагрузки.....	63
5.5.3. Отчет по определению сейсмических нагрузок.....	65
6. СОЗДАНИЕ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ВЫПОЛНЕНИЕ АНАЛИЗА..	68
6.1 Анализ модели	69
6.1.1 Статический анализ.....	70
6.1.2 Анализ сейсмических загружений	73
6.1.3 Анализ статических и сейсмических загружений	73
6.1.4 Анализ устойчивости.....	73
6.1.5 Анализ собственных частот и форм колебаний	74
6.1.6 Нелинейный статический анализ	74
7. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ РАМЫ, ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОВЕРОК	76
7.1. Подбор сечений двутавров по прочности.....	76
7.2. Подбор сечений изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов.....	77
7.3. Подбор сечений колонн постоянного сечения.....	81
7.4. Проверки ограничений по прочности и устойчивости.....	82
7.6. Проверка прочности и устойчивости элементов по СП 16.13330.2011.....	88
7.7. Вычисление расчетных длин	89
7.8. Расчет поясных сварочных швов	91
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ УЗЛОВ.....	93
8.1. Проектирование опорных узлов колонн на фундамент	93
8.2. Проектирование фланцевых узлов.....	96
8.3. Проектирование узлов шарнирного опирания ригелей на колонны	98
8.4. Расчет подкрановых консолей	101
8.5. Формирование таблиц нагрузок на фундаменты.....	102
9. МОДИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ МОДЕЛИ	103

10. УДАЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МОДЕЛИ	105
11. УПРАВЛЕНИЕ ВЫВОДОМ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	106
11.1. Управление отображением результатов.....	106
11.2. Управление отображением модели.....	106
12. ВЫВОД ИНФОРМАЦИИ О МОДЕЛИ В ТЕКСТОВОМ ВИДЕ	108
13. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ В ГЕПАРД-А.....	110
13.1. Построение расчетной модели рамы и ее экспорт в SCAD.....	110
13.2. Выполнение проверок	121
13.3. Подбор сечений	127
13.4. Проектирование узлов	131
13.4.1. Базы колонн	131
13.4.2. Фланцевые соединения.....	133
13.4. Модель рамы произвольного вида	135
14. УСТАНОВКА И СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОГРАММЫ	146
14.1 Деактивация программы.....	148
14.2 Демонстрационный режим работы	148
14.3 Сопровождение программы	148
15. УТИЛИТА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНИЯ НА ФУНДАМЕНТЫ И РАСЧЕТА ОПОРНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ SCAD	149
15.1. Критерии отбора сочетаний нагрузок.....	150
16. УТИЛИТА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОВЕРОК В СООТВЕТСТВИИ С СП 16.13330.2011 ДЛЯ МОДЕЛЕЙ SCAD.....	153
16.1. Классификация элементов по виду напряженного состояния.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРИМЕРЫ ОТЧЕТОВ	156
1. Отчет по проектированию базы колонны.....	156
2. Отчет по проектированию фланцевого узла	172
3. Отчет по проектированию узла опирания ригеля на колонну	184
СПИСОК НОРМАТИВНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.	188
Список использованных источников в отчетах по проектированию узлов	188

Введение

Программа *Гепард-А* предназначена для создания и анализа параметризованных расчетных моделей плоских рам и каркаса из рам.

Модель рамы может создаваться либо как типовая рама – с ограниченным набором возможных форм, либо как рама произвольной конфигурации.

В первом случае модель создается путем задания пролетов, высотных отметок, уклонов и т.п., во втором - созданием геометрической модели в явном виде. Для конструктивных элементов рам задаются параметры сечения либо из сварных двутавров переменного сечения, либо из прокатных двутавров, либо из труб.

Параметризация заключается в том, что при изменении любого параметра рамы модель перестраивается автоматически.

Статические и сейсмические загрузки

Нагрузки задаются в терминах геометрической модели рамы. Задание типовых загрузений, таких как собственный вес, снег, ветер, а также крановых загрузений, автоматизировано.

В модели могут быть заданы сейсмические загрузки, параметры которых определяются по нормам строительства в сейсмических районах.

При изменении какого-либо параметра рамы нагрузки перезадаются автоматически.

Задание *закреплений и шарниров* для типовых рам по умолчанию автоматизировано.

В произвольных точках рамы могут быть заданы *сосредоточенные массы*.

Конечно-элементная модель

После создания геометрической модели выполняется автоматическое разбиение сеткой конечных элементов одного из двух типов:

- двумерной модели на основе изгибаемых стержней (балочных элементов);
- трехмерной модели на основе оболочечных элементов.

Экспорт расчетной модели в SCAD, Липу и Nstran

Конечно-элементная модель вместе с условиями нагружения может быть экспортирована в текстовый файл в формате одной из систем прочностного расчета –SCAD, Липу и Nastran. Во время операции экспорта модели выполняется преобразование нагрузок с геометрической модели в нагрузки, соответствующие выбранному типу конечно-элементной модели.

Экспорт геометрической модели в формате XML, Excel

Геометрическая модель может быть экспортирована в форматах XML и Excel и затем использована при импорте в одну из систем геометрического моделирования. В частности, модель в формате Excel может быть использована для построения параметризованной модели в *Autocad Inventor*.

Виды анализа

В программе имеется встроенный блок конечно-элементного анализа, с помощью которого можно выполнять следующие виды анализа конструкции:

- линейный статический расчет;
- анализ потери устойчивости по Эйлеру;

- анализ собственных колебаний;
- анализ сейсмического нагружения;
- нелинейный статический анализ. При выполнении этого анализа можно задать искажение исходной геометрии по первой форме потери устойчивости.

В данной версии программы конечно-элементный анализ выполняется для моделей на основе изгибаемых стержней.

Расчетные сочетания усилий

Анализ и проектирование конструкции обеспечивается автоматизацией выбора РСУ (расчетных сочетаний усилий) для широкого спектра вариантов нагружений. В соответствии с учитываемым составом нагрузок в РСУ входят сочетания усилий от действия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, а также крановых и сейсмических.

Выбор РСУ на элементах производится по линейным критериям (максимальные и минимальные нормальные и касательные напряжения), а также нелинейным критериям (максимальные эквивалентные напряжения) в контрольных точках сечения элемента.

Вывод РСУ производится в форме M, N, Q (изгибающего момента, продольной и поперечной силы).

В программе реализовано автоматическое преобразование РСУ в уникальные комбинации нагружений.

Проектирование конструктивных элементов

На основе полученных основных или особых сочетаний нагрузок может быть выполнен автоматизированный подбор сечений рам, оптимальной конфигурации конструктивных элементов.

Проектирование типовых узлов

Важной компонентой программы является возможность автоматизированного расчета поясных сварных швов и проектирования типовых узлов рамы, таких как

- опорные узлы колонн, в том числе из квадратных труб,
- узлы опирания ригеля на колонны,
- фланцевые узлы,
- подкрановые консоли.

Выполнение проверок

На основе результатов анализа проводятся исчерпывающие проверки прочности, устойчивости, несущей способности и прогибов по критериям СНиП и СП 20.13330.2017.

Формирование отчетов

Пользователь может автоматически генерировать отчеты в MS Word по данным расчетной модели, результатам проверок и по результатам проектирования узлов, прогонов, создания крановых и сейсмических нагрузок.

Создание каркаса здания

Гепард-А позволяет создавать модель каркаса в виде совокупности моделей всех рам здания, каждая из которых находится на своей позиции по оси здания.

При работе с каркасом здания используется понятие шаблона рамы, на основе которого могут создаваться модели рам. Это позволяет автоматически переносить геометрические параметры шаблона и нагрузки на раму. Технология работы с каркасом позволяет за один раз экспортировать в SCAD модель всех рам здания.

Подстропильные балки

В модели многопролетных одноконьковых рам можно включать подстропильные балки.

Прогоны

В программе Гепард-А есть встроенный модуль проектирования прогонов из прокатных профилей. Также выполняется подбор сечений прогонов из ЛСТК (гнутиков - сечения типа С, Z и Сигма) в соответствии с Еврокодом ТКП EN 1993-1-3-2009 и СП 260.1325800.2016;

Фахверки

Для рам с моментным опиранием колонн на фундамент предусмотрено преобразование в фахверковые рамы.

Утилиты Гепард-А

В программу встроен набор утилит, позволяющих выполнять, в частности, преобразование (конвертирование) текстовых файлов расчетных моделей из формата SCAD в формат NASTRAN, проектирование изолированных узлов по заданной геометрии и расчетным сочетаниям усилий, расчет прочности неразрезных балок на упругом основании.

Автономные утилиты

В состав пакета входят две автономные утилиты, работающие в связке со SCAD через API, на основе PCY трехмерной модели SCAD:

- *Формирование задания на фундаменты и расчет опорных узлов*

Утилита является универсальной и может работать с любой моделью SCAD в режиме сквозного проектирования. Результатом работы утилиты являются таблицы нагрузок, рассчитанные опорные узлы, схемы привязки и параметры фундаментных болтов.

- *Проверки прочности и устойчивости*

Утилита позволяет выполнять исчерпывающие проверки прочности и устойчивости в соответствии с СП 16.13330.2017. “Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*”. Утилита является универсальной и может работать с любой моделью SCAD, с элементами, имеющими сечение в форме двутавров и труб.

Результатом работы утилиты являются таблицы коэффициентов использования, рассчитанные для элементов, классифицированных по виду напряженного состояния.

Импорт результатов из SCAD

Кроме экспорта расчетных моделей в SCAD, есть возможность импорта результатов анализа из модели SCAD, и использования этих результатов в операциях проверок, подбора сечений, проектирования узлов и других подобных действиях. Это позволяет использовать результаты произвольным образом модифицированной модели SCAD в программе Гепард-А при выполнении операций подбора сечений и для проектирования типовых узлов.

Графический интерфейс пользователя включает в себя стандартный кнопочный интерфейс Windows.

Процесс создания расчетной модели состоит из следующих этапов.

Вначале строится геометрическая модель конструкции рамы. Для типовых рам пользователь в интерактивном режиме задает параметры рамы, по которым автоматически строится геометрическая модель. Для произвольных рам геометрическая модель строится на основе параметризованных конструктивных элементов, которые стыкуются друг с другом в узлах сопряжения.

Затем задаются статические нагрузки и, если необходимо, параметры одного или нескольких сейсмических нагружений, действующие на конструкцию. Статические нагрузки задаются в терминах геометрической модели.

Снеговые, ветровые и крановые нагружения формируются автоматически в соответствии с требованиями либо СНиП 2.01.07-85*, либо СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия".

Сейсмические воздействия задаются с использованием как стандартных, так и заданных пользователем спектрограмм.

Сейсмические нагрузки могут определяться с использованием различных методик, в том числе, изложенной в СП 14.13330.2014.

При изменении пользователем каких-либо параметров, геометрическая модель автоматически перестраивается, нагрузки автоматически пересоздаются.

После создания геометрической модели пользователь может построить на ней сетку конечных элементов одного из двух типов:

- двумерную модель на основе изгибаемых стержней (балочных элементов);
- трехмерную модель на основе оболочечных элементов.

1. Рамы типовой и произвольной конфигурации

Программа Гепард-А позволяет строить модели рам либо на основе типовых конфигураций в терминах "ригели-колонны", либо в виде произвольных сочетаний конструктивных элементов.

1.1. Типовые рамы

В программе Гепард-А поддерживается несколько типов одноэтажных и многоэтажных рам, которые отличаются друг от друга наличием внутренних колонн, одного или нескольких коньков, способу сопряжения ригеля с колоннами, и колонн с фундаментом. Для каждого сочетания этих факторов пользователем определяется свой набор параметров.

Параметрами задания геометрической модели рамы типовой конфигурации в общем случае являются:

- условие симметрии рамы;
- условия сопряжения колонн и ригелей и условия опирания колонн на фундамент;
- количество и размеры пролетов;
- количество коньков;
- привязка внешних граней наружных колонн относительно разбивочных осей;
- количество и привязка внутренних колонн;
- привязка коньков;
- уклоны ригелей и внешних колонн;
- отметки низа колонн и ригелей;
- размеры основных и дополнительных сечений;
- параметры ребер жесткости;

– размеры сечений внутренних колонн.

Количество основных сечений для рамы определенного типа постоянно, количество дополнительных сечений – произвольное. Также произвольно количество ребер жесткости.

1.1.1 Однопролетная рама с моментным сопряжением колонн с ригелем

Однопролетная, одноэтажная рама с шарнирным сопряжением колонн с фундаментом и моментным сопряжением ригеля с колоннами по типу, представленной на рис. 1.1. Рама является частным случаем многопролетной рамы.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.

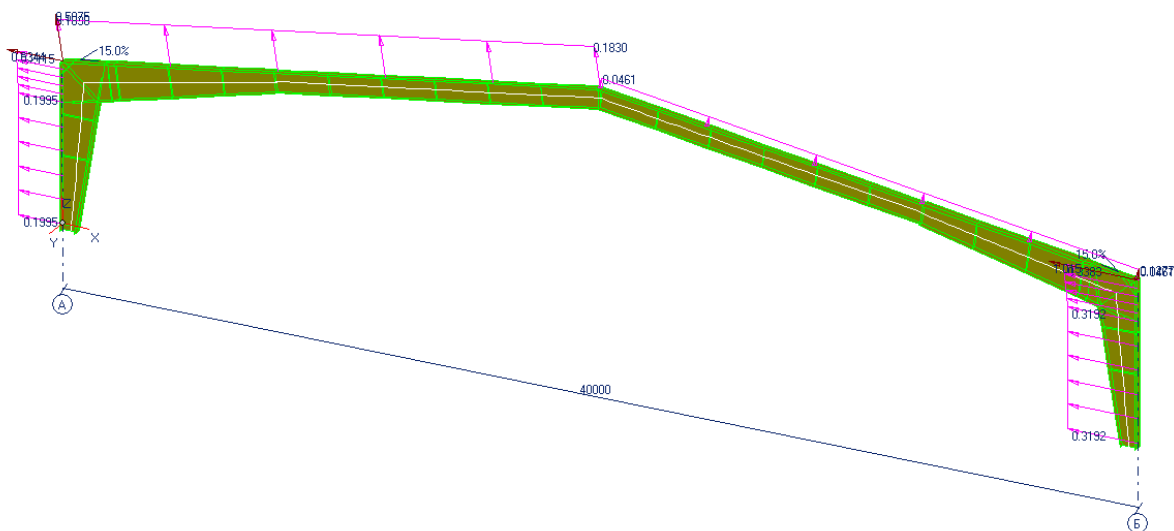


Рис. 1. 1. Однопролетная, одноэтажная рама с шарнирным сопряжением колонн с фундаментами и моментным сопряжением ригеля с колоннами.

1.1.2 Симметричная рама с шарнирным сопряжением ригеля с колоннами

Двухшарнирная симметричная однопролетная одноэтажная рама с жестким сопряжением колонн с фундаментом и шарнирным сопряжением ригеля с колоннами по типу, представленной на рис. 1.2.

Симметричная однопролетная рама является частным случаем типовой многопролетной рамы, в которой всегда выполняются условия симметрии, колонны имеют двутавровое сечение и на ригеле не могут быть заданы дополнительные сечения.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.

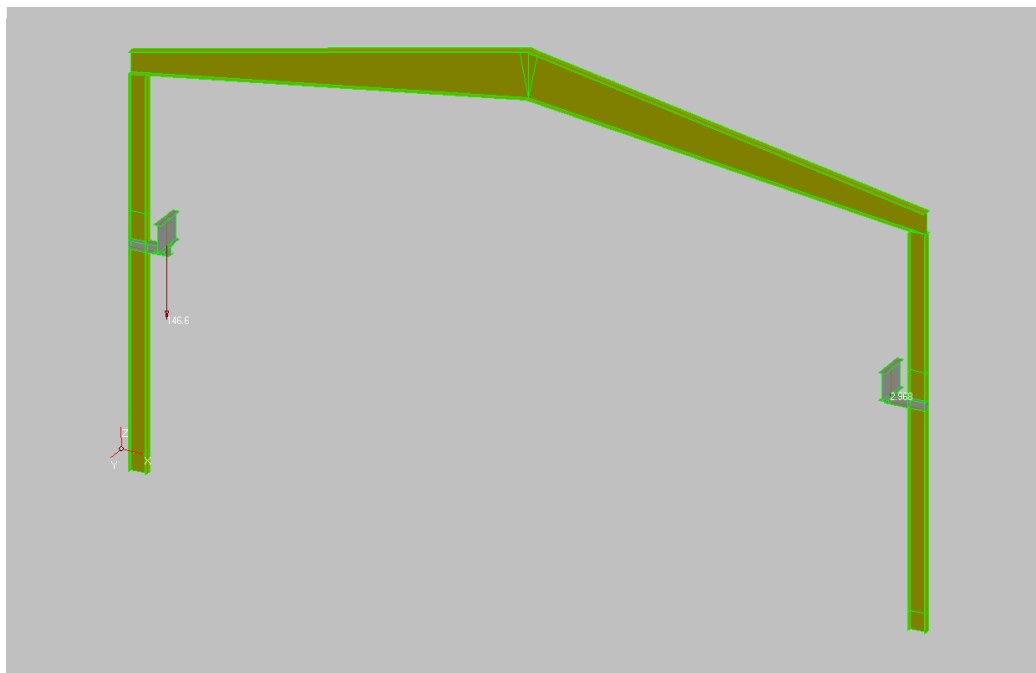


Рис. 1. 2. Двухшарнирная однопролетная одноэтажная рама.

1.1.3 Несимметричная односкатная рама

Двухшарнирная, несимметричная, однопролетная, односкатная, одноэтажная рама с жестким сопряжением колонн с фундаментом, и шарнирным сопряжением ригеля с колоннами по типу, представленной на рис. 1.3.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.



Рис. 1. 3 Двухшарнирная однопролетная одноэтажная рама с жестким сопряжением колонн с фундаментом и шарнирным сопряжением ригеля с колоннами. Односкатная кровля.

1.1.4 Многопролетная рама с моментным сопряжением крайних колонн и ригеля

Многопролетная одноэтажная рама с моментным или шарнирным сопряжением средних колонн с фундаментом и шарнирным опиранием ригеля на средние колонны, моментным сопряжением ригеля с крайними колоннами и шарнирным сопряжением крайних колонн с фундаментами по типу, представленной на рис. 1.4.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.

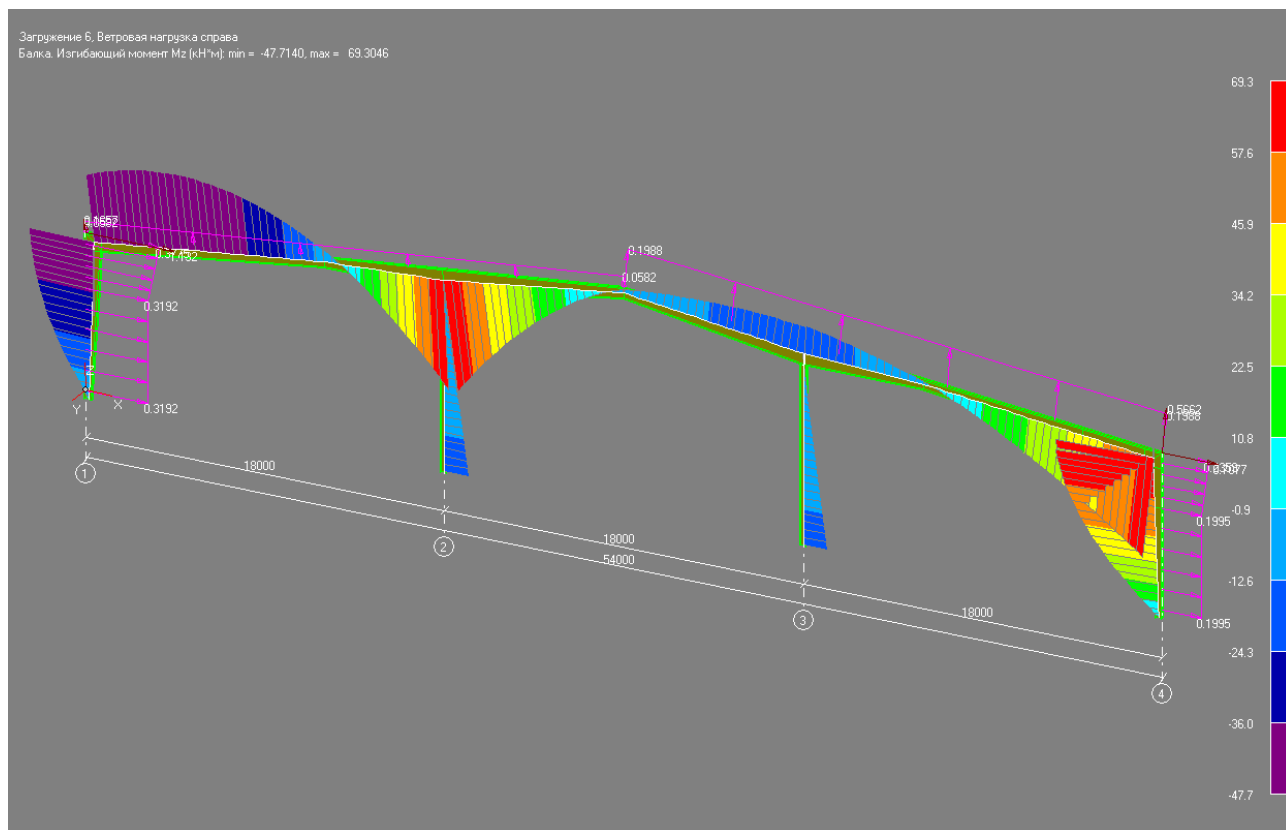


Рис. 1. 4 Многопролетная одноэтажная рама жестким или шарнирным сопряжением средних колонн с фундаментом

1.1.5 Многопролетная рама с безмоментным сопряжением колонн и ригеля

Многопролетная одноэтажная рама с жестким сопряжением колонн с фундаментом и шарнирным опиранием ригеля на колонны по типу, представленной на рис. 1.5. Является обобщением для рам 1.2 и 1.3.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.

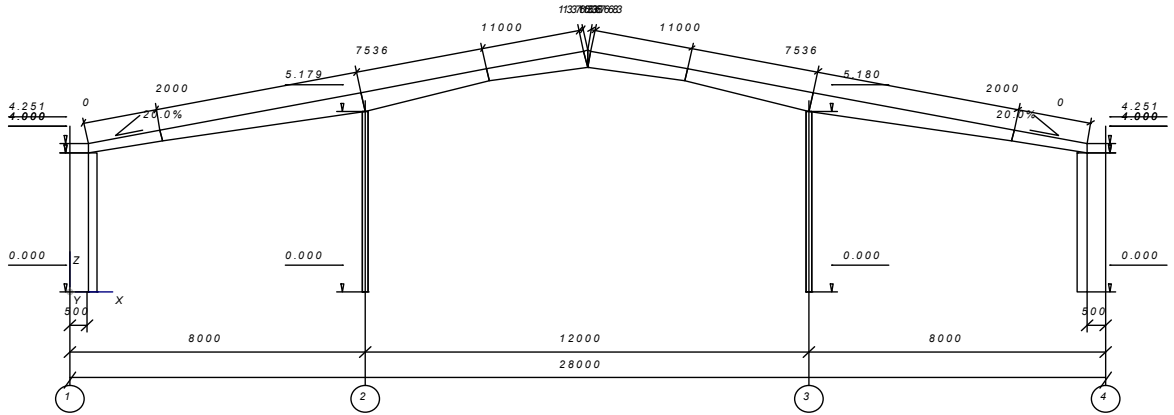


Рис. 1.5. Многопролетная одноэтажная рама жестким сопряжением колонн с фундаментом и шарнирным опиранием ригеля на колонны.

1.1.6 Многоконьковая рама с безмоментным сопряжением колонн и ригеля

Многопролетная многоконьковая одноэтажная рама с жестким сопряжением колонн с фундаментом (крайние колонны могут иметь шарнирное опирание на фундамент) и шарнирным опиранием ригеля на колонны по типу, представленной на рис. 1.6.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.

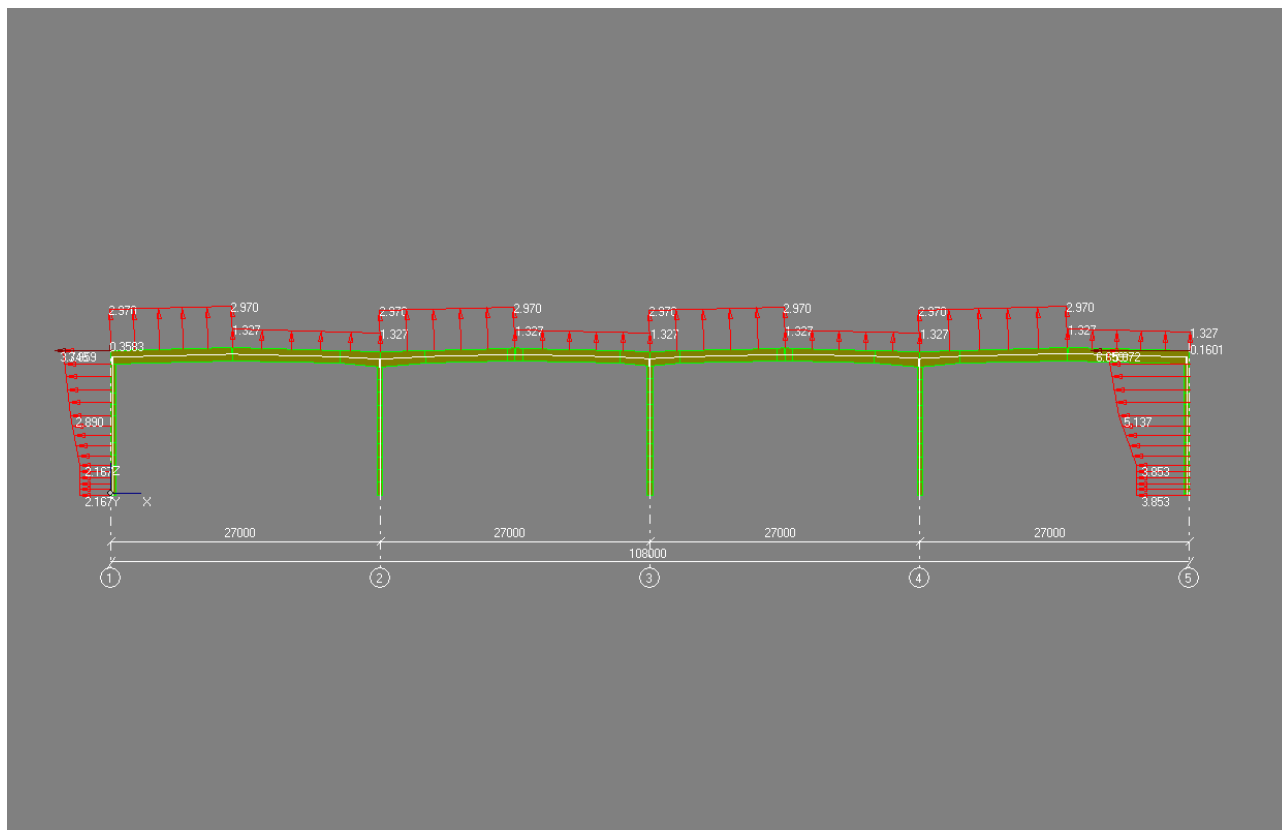


Рис. 1.6. Многопролетная многокопьевая одноэтажная рама жестким сопряжением колонн с фундаментом и шарнирным опиранием ригеля на колонны

1.1.7 Сегментная рама с безмоментным опиранием на фундамент

Рама состоит из произвольного количества сегментов, последовательно соединенных между собой. Каждый сегмент имеет произвольную длину и произвольный уклон. Первый и последний сегмент шарнирно опираются на фундамент. Сегменты рамы образуют выпуклый многогранник с четным числом сторон. В частном случае вершины многогранника опираются на дугу окружности по типу, представленной на рис. 1.7.

Соединение сегментов друг с другом моментное. Высота сечения сегментов может быть переменной по длине.

Параметры рамы могут задаваться с учетом ее симметрии.

Сегменты имеют двутавровое сечение. Для сопряжения сегментов используются фланцевые узлы.

Узлы опирания сегментов на фундамент аналогичны узлам опирания наклонных колонн рамы 1-го типа.

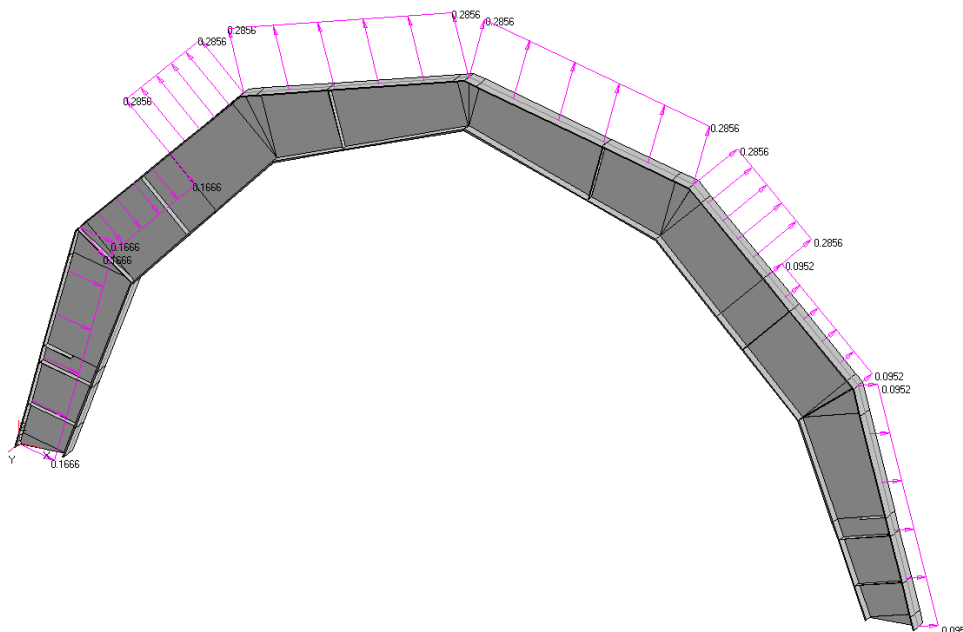


Рис. 1.7. Сегментная рама

1.1.8 Одноконьковая, многопролетная, многоуровневая рама

Рама с произвольным сопряжением ригеля с крайними колоннами. Внутри рамы на разных уровнях могут проходить несколько поперечных балок, опирающихся на колонны. Высота балок может быть переменной. Последний этаж рамы может либо содержать, либо не содержать колонны. Крайние и внутренние колонны имеют постоянное двутавровое сечение. Параметры рамы могут задаваться с учетом ее симметрии.

На поперечных балках могут быть заданы постоянные нагрузки, которые включается в типовое загрузение “Постоянные нагрузки”. Для задания полезных нагрузок используется аппарат задания произвольных загрузений.

Рамы этого типа могут проектироваться с учетом заданных крановых нагрузок от мостовых и подвесных кранов.

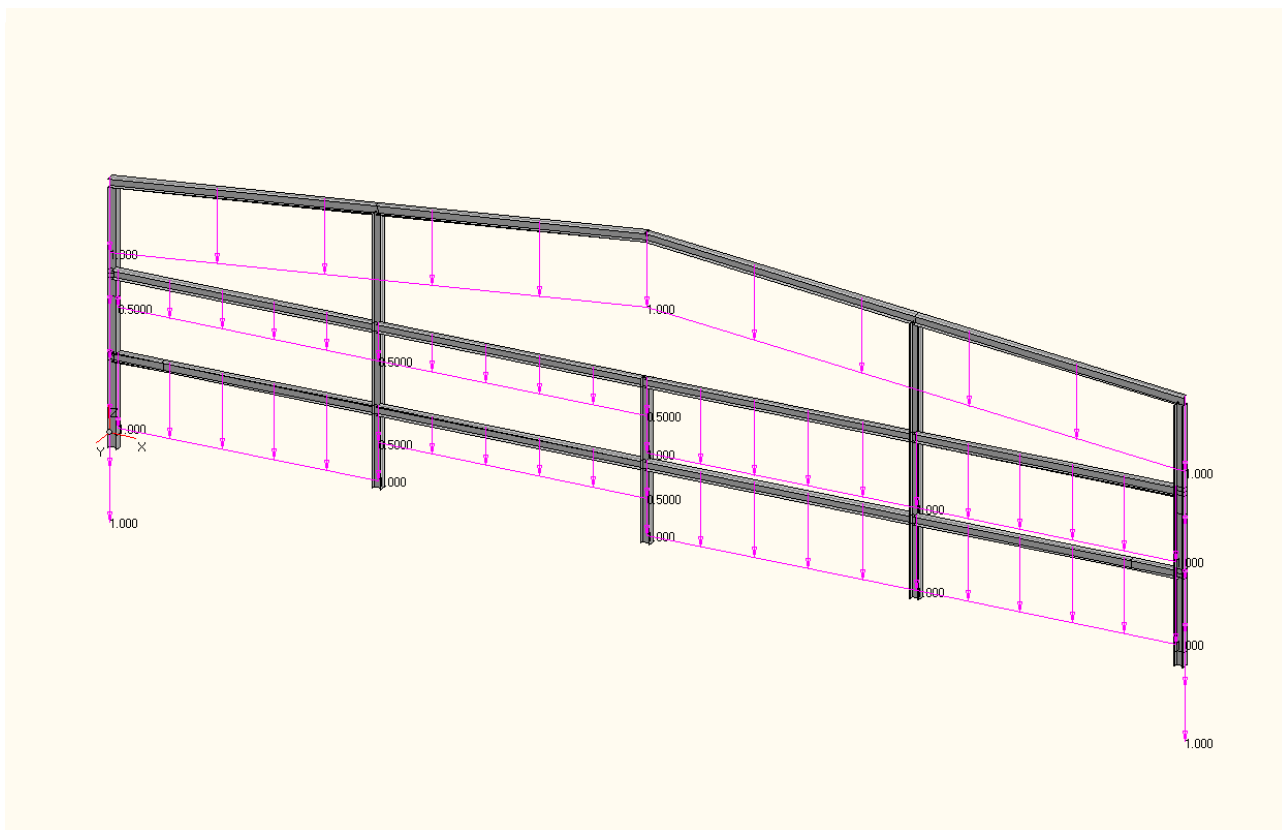


Рис. 1.8. Одноконьковая, многопролетная, многоуровневая рама

1.2. Рамы произвольной конфигурации

Модель рамы произвольной конфигурации строится из совокупности геометрических элементов, называемых конструктивными элементами. Конструктивные элементы (КОЭ) соединяются между собой в узлах сопряжения.

Расположение конструктивного элемента в пространстве определяется положением его осевой линии, к которой привязывается либо грань КОЭ, либо его нейтральная ось. Для задания осевых линий и узлов сопряжения используются простейшие геометрические объекты – точки и линии.

Геометрия конструктивного элемента определяется вектором ориентации, смещением осевой линии в плоскости элемента и концевыми сечениями. После задания конструктивного элемента, описание его геометрии может быть дополнено дополнительными сечениями, продольными и поперечными ребрами.

Все остальные исходные данные для расчетной модели задаются в терминах КОЭ.

Модель рамы произвольной конфигурации может быть также получена конвертацией типовой рамы, после чего в нее могут вноситься изменения и дополнения.

Пример модели рамы произвольной конфигурации приведен на рис. 1.9.

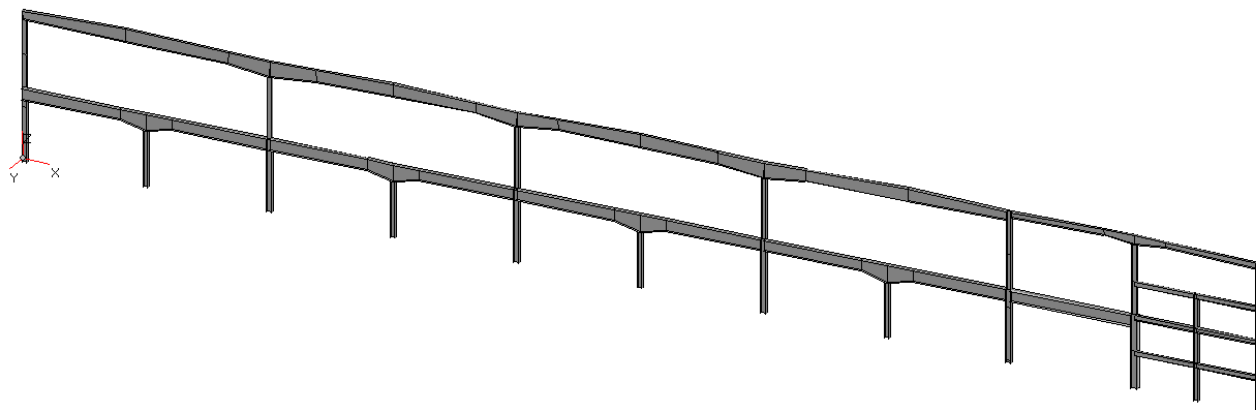


Рис. 1.9. Модель произвольной рамы

2. Каркас здания

При использовании аппарата каркаса создается модель здания в виде совокупности моделей рам, рис. 2.1, каждая из которых находится на своей позиции по оси здания.

При работе с каркасом здания вводится понятие шаблона рамы, который создается на первом шаге создания модели каркаса. Затем пользователь на его основе создают рамы каркаса, при этом геометрические параметры шаблона автоматически переносятся на раму.

После создания рамы с ней можно работать так же, как с изолированной рамой.

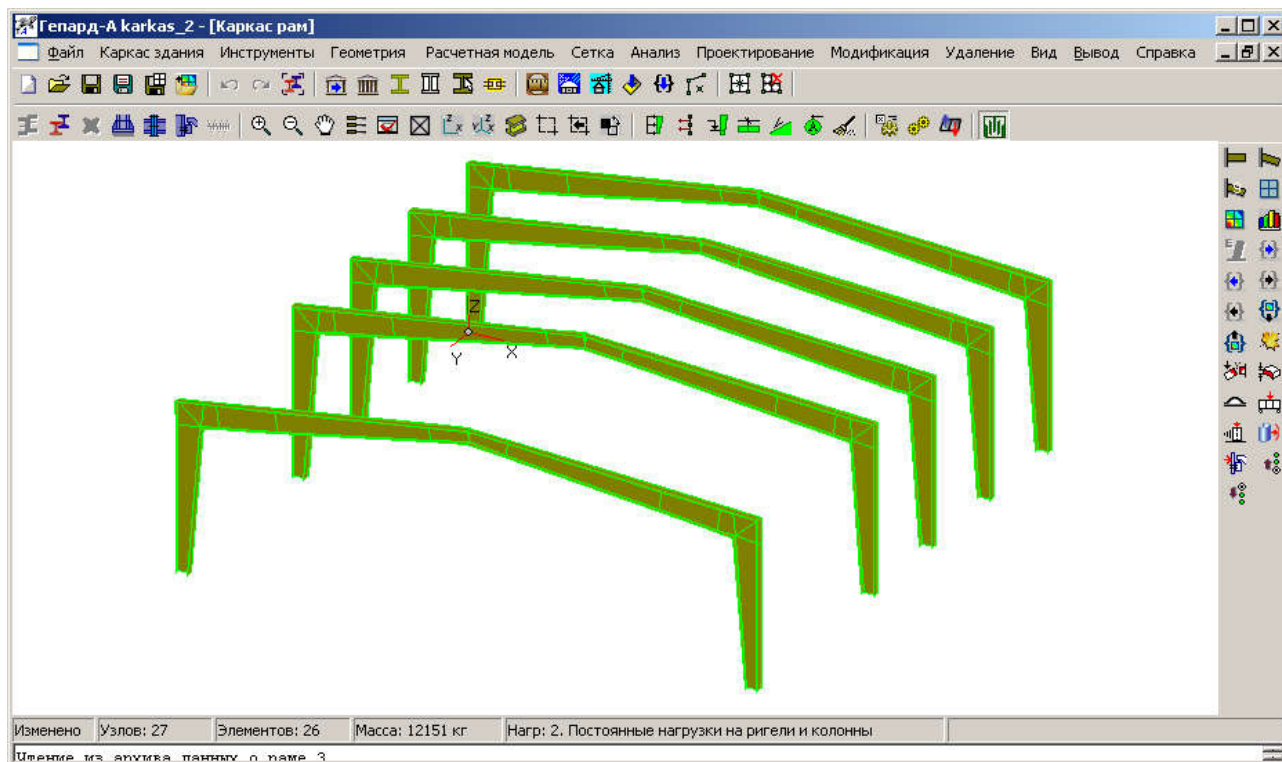


Рис. 2.1. Каркас рам здания

2.1. Последовательность создания каркаса здания

1. Задается размер здания по оси. Определяются фиксированные параметры рам каркаса, то есть параметры, которые будут автоматически переноситься на каждую раму при изменении параметров шаблона рамы. Это могут быть, например, габариты рам, уклоны, типовые загрузки, геометрия основных сечений;
2. Создается шаблон каркаса и типовые нагрузки на здание. В качестве шаблона может быть импортирована рама из отдельного архива;
3. Создаются рамы каркаса, которые определяются только дистанцией рамы по оси и грузовой шириной. На вновь создаваемую раму автоматически переносятся все параметры шаблона, в том числе типовые загрузки;
4. После создания рамы ее нефиксированные параметры могут быть изменены;
5. Для каждой рамы строится сетка стержневых элементов. Эти сетки могут строиться для всех рам одновременно;
6. Выполняется анализ каждой рамы независимо от других рам. При этом обеспечивается контроль общих параметров здания;
7. Выполняется подбор сечений для всех рам, выполняются необходимые проверки;

8. Каркас здания (его стержневая модель) либо целиком, либо его отдельные рамы может одновременно экспортироваться в формате SCAD или Nastran. При этом обеспечивается сквозная нумерация узлов и элементов конечно-элементной модели.

Интерфейс для работы с каркасом здания и пример работы описаны в разделе 3.7.

3. Интерфейс пользователя

Интерфейс пользователя включает в себя графический интерфейс, команды программы и диалоговые окна. Интерфейс программы выполнен в стандарте Windows.

3.1. Главное окно

Все элементы среды моделирования Гепард-А объединяет Главное окно (рис. 3.1.). Главное окно включает в себя Главное меню, Панель Инструментов, Графическое окно, Статусную строку, Панель команд и Окно сообщений.

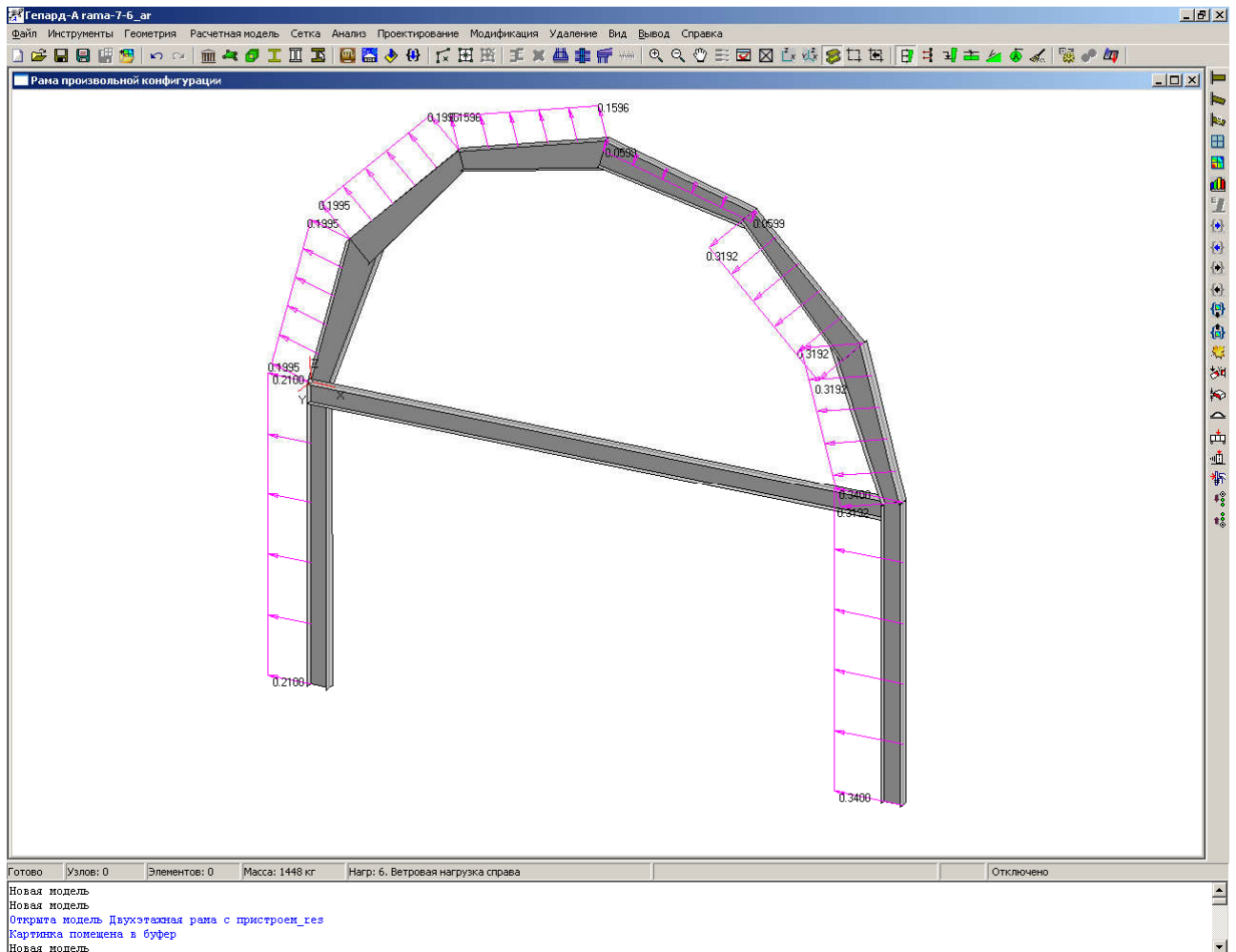


Рис. 3. 1 Главное окно и среда моделирования программы Гепард-А

Главное меню содержит группы команд – **Файл**, **Инструменты** и т.д. Каждый пункт сопровождается выпадающим меню со списком команд, некоторые из которых имеют подменю.

Панель инструментов содержит кнопки, дублирующие часто используемые команды Главного меню.

Панель команд находится справа от графического окна и содержит кнопки команд управления выводом результатов расчета и проверок в графическом окне.

Все кнопки *Панели инструментов* и *Панели команд* снабжены подсказками, объясняющими назначение кнопки.

Графическое окно служит для отображения модели. Оно содержит изображение осей системы координат. Изображение модели выводится в графическом окне в соответствии с опциями установки, которые запоминаются вместе с моделью.

Окно сообщений служит для отображения сообщений о выполняемых действиях, ошибках и предупреждениях. В это окно также выводятся данные с использованием команд меню **Вывод**.

В *статусной строке*, находящейся внизу, находится справочная информация о состоянии модели.

При выполнении команд осуществляется задание текстовых и числовых данных в соответствующих полях диалоговых окон. При задании числовых данных можно использовать арифметические выражения с использованием знаков "+", "-", "*", "/". Корректность задания числовых данных контролируется программой.

3.2. Объекты данных модели

Объектами данных являются составляющие модели. Они включают в себя объекты следующих типов:

Геометрические объекты:

- Точки;
- Линии;
- Конструктивные элементы;
- Общая геометрия типовых рам;
- Основные сечения;
- Дополнительные сечения;
- Ребра жесткости;
- Сечения разбивки;

Объекты расчетной модели:

- Материал;
- Узлы;
- Элементы;
- Нагрузки;
- Закрепления;
- Шарниры;
- Сосредоточенные массы;

Результаты:

- Перемещения узлов под действием статической или сейсмической нагрузки;
- Усилия и напряжения в элементах;
- Формы потери устойчивости;
- Собственные формы и частоты колебаний;

Вспомогательные объекты:

- Группы элементов;
- Группы сечений;
- Метки (номера объектов, значения нагрузок, отметки и т.п.);

- Оси координат;
- Начало координат;
- Высотные отметки;
- Уклоны;
- Привязки;

3.3. Графический выбор объектов

Крайнее правое поле статусной строки имеет по умолчанию значение “Отключено”, что соответствует отключенному режиму графического выбора объектов. После щелчка правой кнопкой мыши появляется контекстное меню, в котором можно выбрать какой-либо тип объекта. После этого при наведении курсора на объект этого типа, он будет подсвечен, и на экране будет выведена информация о выбранном объекте, например, координаты точки.

3.4. Единицы измерения

При задании параметров модели используются фиксированные единицы измерения.

Все панели с текстовыми полями, в которых задаются числовые данные, сопровождаются указанием единиц измерения:

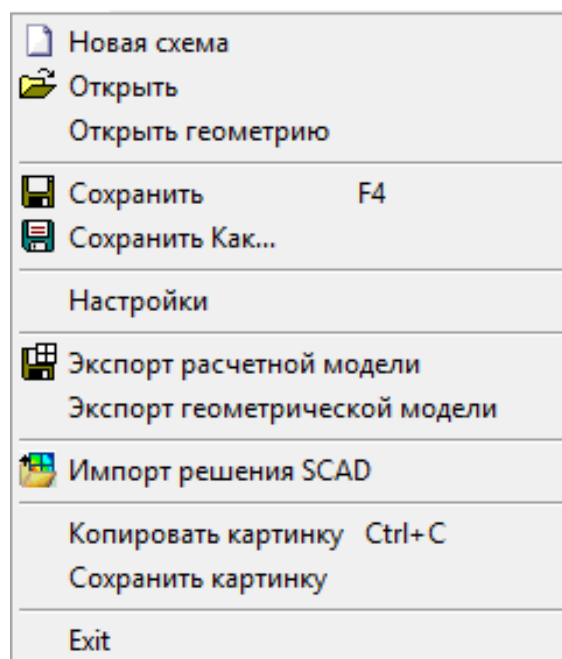
- все линейные размеры задаются в мм;
- силы задаются в кН (килоньютон);
- модули упругости и сдвига – в мПа (мегапаскаль: $\text{мПа}=\text{Н}/\text{мм}^2$);
- допускаемые напряжения – в мПа;
- плотность материала – в $\text{кг}/\text{м}^3$;
- сосредоточенные массы – в т (тонна);
- ускорение свободного падения – в $\text{м}/\text{сек}^2$;
- сосредоточенные моменты – в $\text{кН}\cdot\text{м}$.

В процессе экспорта расчетной модели в формат текстового файла производится преобразование единиц измерения в согласованную систему единиц. Для SCAD эта система единиц задается при экспорте, для NASTRAN производится преобразование в систему единиц $\text{мм}/\text{Н}/\text{сек}$ (размеры в мм, силы в Н, время в сек).

3.5. Операции с файлами – меню Файл

Команды меню **Файл** предназначены для работы с новыми или существующими моделями программы Гепард-А. Назначение команд ясно из их названия.

С помощью команды **Файл** \Rightarrow **Новая схема** открывается новый, пустой файл модели и задается вид конструкции, для которой будет создаваться расчетная модель. На рисунке 3.2 показана конфигурация панели для вида конструкции **Типовая рама**. Конфигурация типовой рамы может быть выбрана либо с помощью кнопки **Выбор рамы по образцу**, либо с помощью опций, задающих число пролетов, коньков и способы сопряжения колонн с фундаментом и ригелей с колоннами.



При включении опции **Многопролетная рама** число пролетов может быть задано ≥ 1 . При этом для однопролетных рам с жестким опиранием колонн на фундамент появляется возможность задания дополнительных сечений.

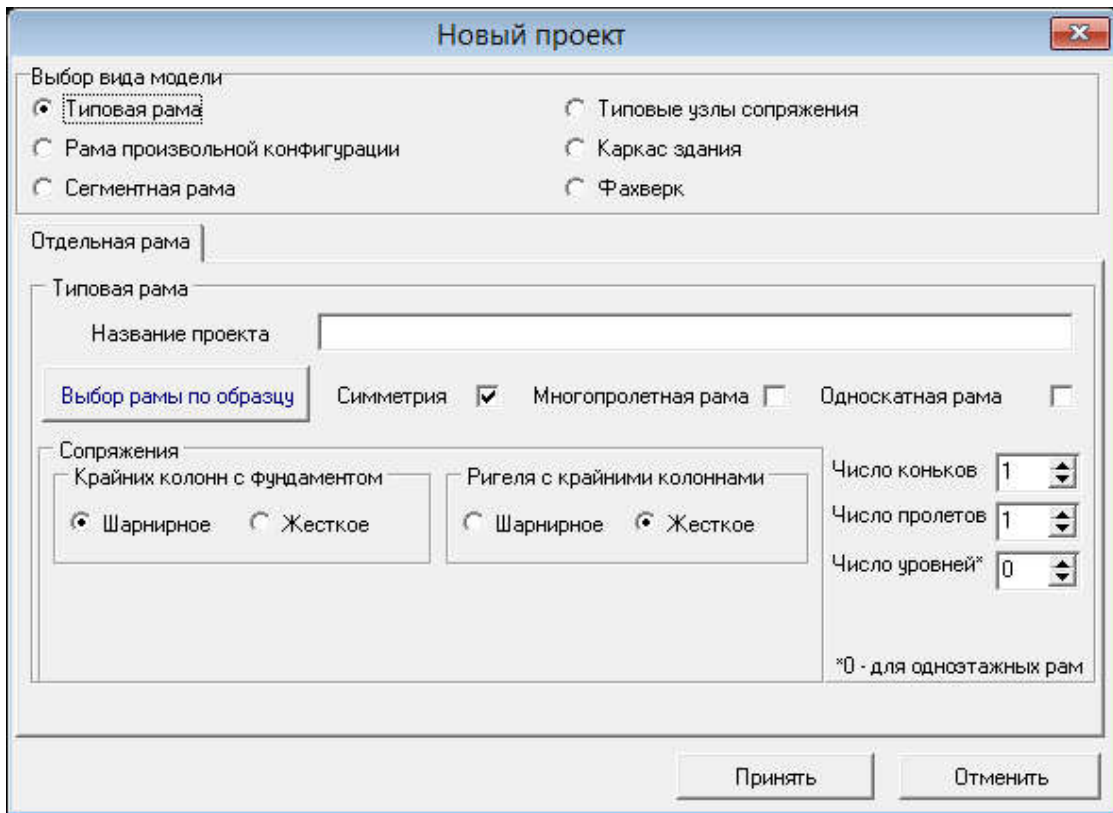


Рис. 3. 2 Диалоговое окно выбора вида конструкции

Команда **Файл** \Rightarrow **Экспорт** позволяет экспортировать данные для конечно-элементного анализа в формате текстового файла одной из программ прочностного расчета:

- SCAD;
- ЛИРА;
- NASTRAN.

Команда транслирует конечно-элементную модель, условия нагружения, граничные условия и условия выполнения расчета в текстовый файл. После импорта этого файла в соответствующую программу, пользователь получает модель, полностью готовую к выполнению расчетов.

Выбор формата вывода осуществляется в диалоговом окне выбором соответствующей программы (см. рис. 3.4). В зависимости от выбора формата конфигурируются остальные вкладки диалогового окна (рис. 3.5,3.6).

В случае экспорта одной или нескольких рам из каркаса здания, необходимо предварительно выбрать эти рамы с помощью кнопки **Выбор рам каркаса для экспорта**.

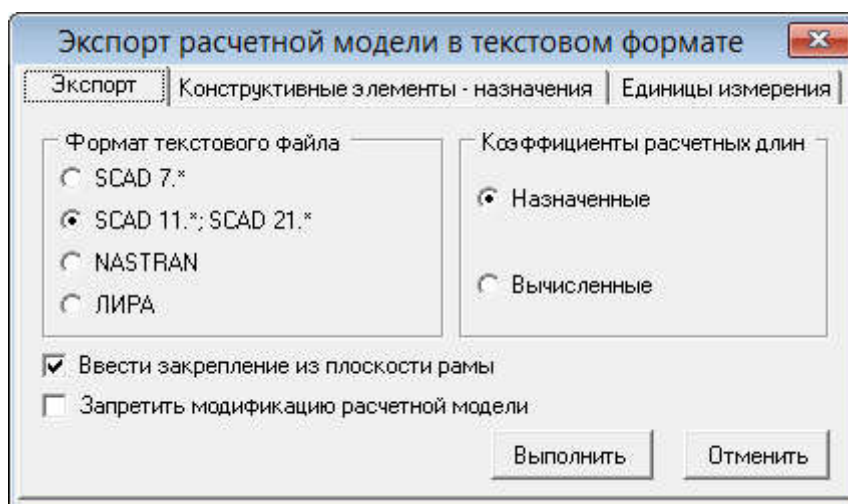


Рис. 3. 3 Диалоговое окно экспорта расчетной модели, вкладка выбора формата входного файла

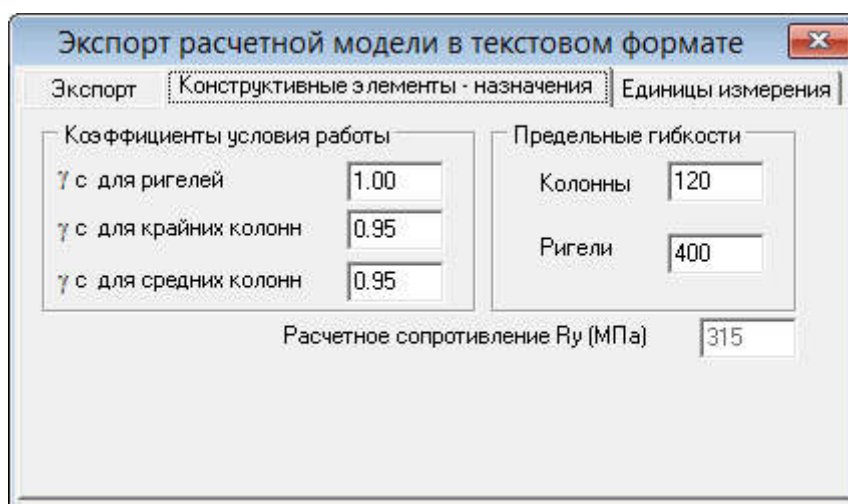


Рис. 3. 4 Диалоговое окно экспорта расчетной модели, вкладка экспорта групп конструктивных элементов

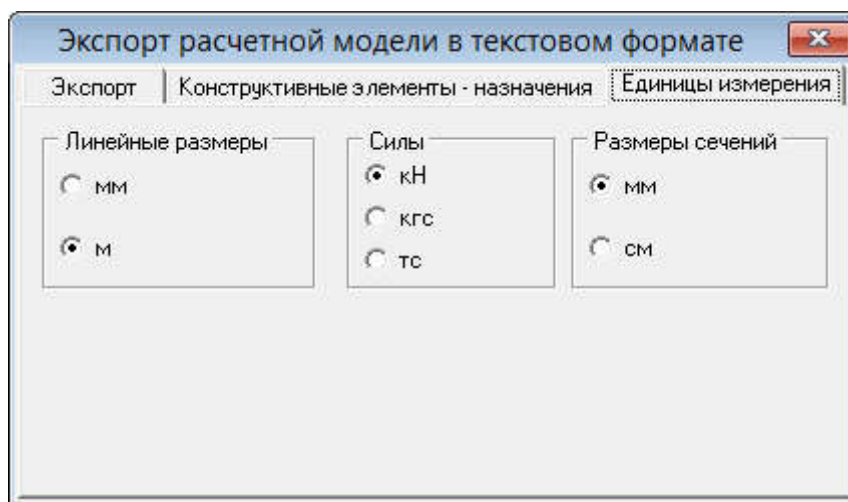


Рис. 3. 5 Диалоговое окно экспорта расчетной модели, вкладка задания единиц измерения

Команда **Файл** ⇒ **Экспорт геометрической модели** позволяет экспортировать геометрическую модель в форматах XML и Excel, рис. 3.6.

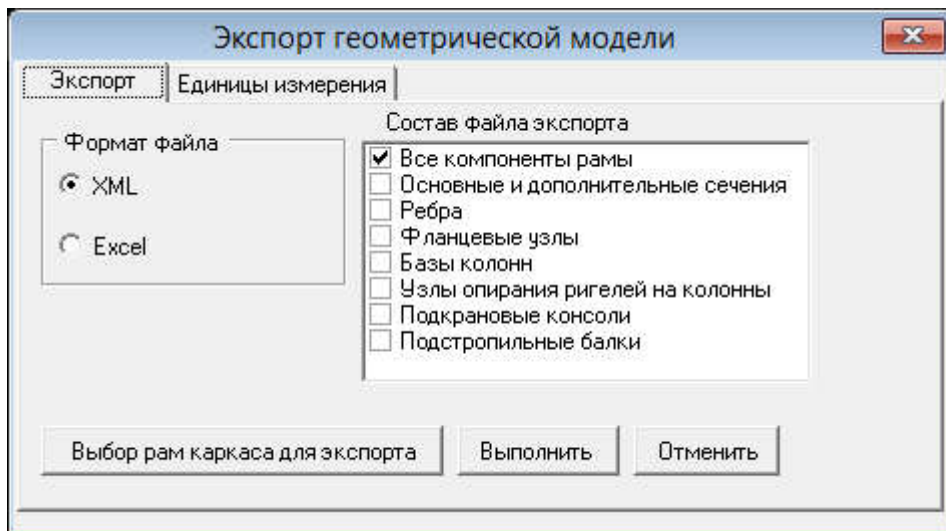


Рис. 3. 6 Диалоговое окно экспорта геометрической модели

Команда **Файл** ⇒ **Импорт решения SCAD** позволяет выполнить импорт результатов анализа модели из базы данных SCAD при условии, что расчетная модель Гепард-А является фрагментом модели SCAD, см. рис. 3.7.

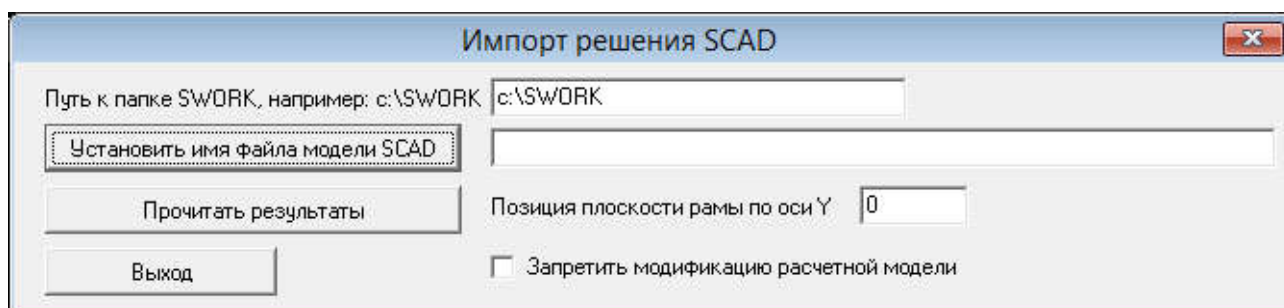


Рис. 3. 7 Диалоговое окно импорта решения SCAD

3.6. Меню Инструменты

Команды меню **Инструменты** предоставляют средства отмены и возврата операций, доступ к командам определения групп элементов, типов профилей, групп сечений. В меню входят команды преобразования типовых рам в произвольные, а также утилиты, позволяющие решать некоторые сопутствующие задачи прочности и устойчивости конструкций.

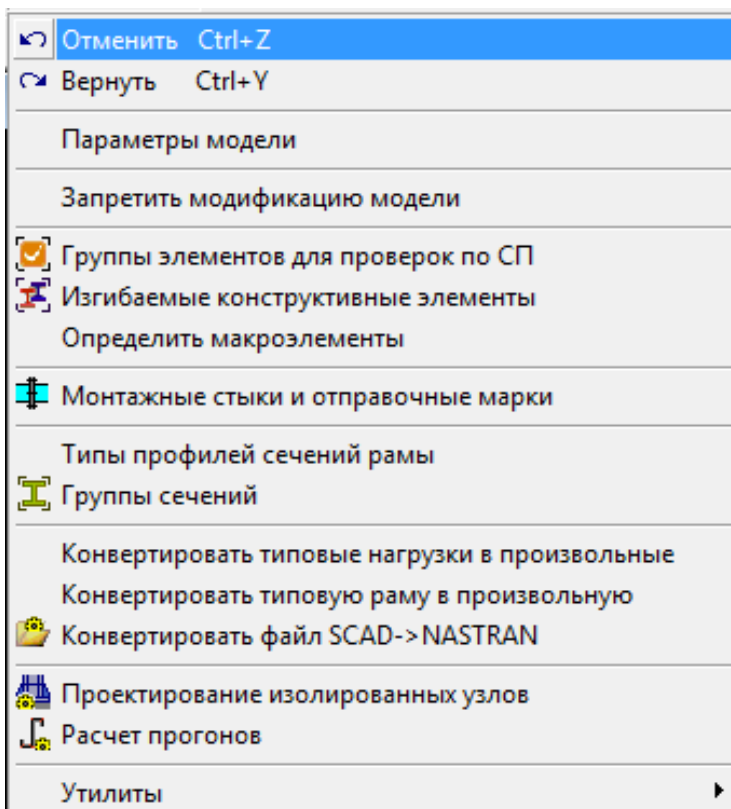
Команда **Параметры модели** позволяет в одном окне установить общие параметры, которые будут использоваться при создании и модели и работе с ней, рис. 3.8.

Команда **Запретить модификацию модели** либо устанавливает, либо снимает ограничение на выполнение команд, которые могут изменить состояние модели Гепард-А.

Команда **Группы элементов для проверок по СП** используется для определения непрерывных участков конструктивных элементов, сечение которых имеет одинаковую толщину поясов, стенки и одинаковую ширину поясов. Высота стенки на участке может быть переменной. Группы элементов используются при выполнении проверок по СП 16.13330.2011, см. 7.5.

Участок, содержащий группу элементов, задается двумя сечениями в диалоговом окне, рис. 3.9. Предварительно группа создается и именуется, рис. 3.10. После разбиения балочными элементами, группа будет содержать элементы, на которые разбит участок между двумя сечениями.

Команда **Изгибаемые конструктивные элементы** используется для определения изгибаемых и сжато-изгибаемых конструктивных элементов, для которых после этого могут быть подобраны сечения, удовлетворяющие условиям прочности при минимальной массе, см. 7.3. Изгибаемый элемент задается двумя или более сечениями, следующими слева направо для левых конструктивных элементов, и справа налево для правых. Первым и последним сечениями должны быть основные сечения, остальные сечения выбираются из дополнительных сечений. Интерфейс команды аналогичен предыдущей **Группы элементов для проверок по СП**. Предварительно изгибаемый конструктивный элемент создается и именуется.



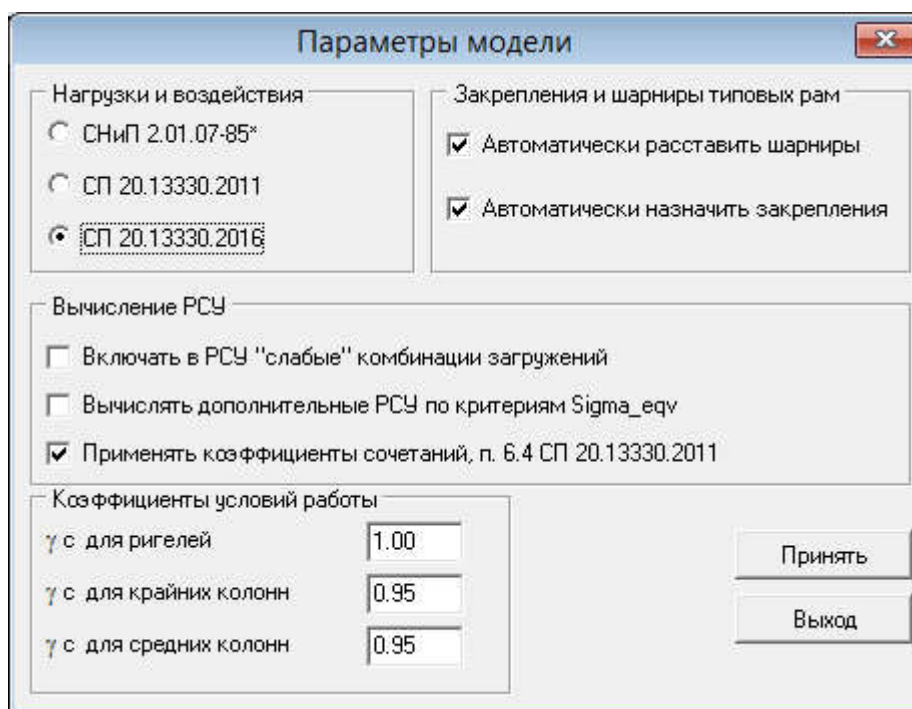


Рис. 3. 8 Параметры, используемые при работе с моделью

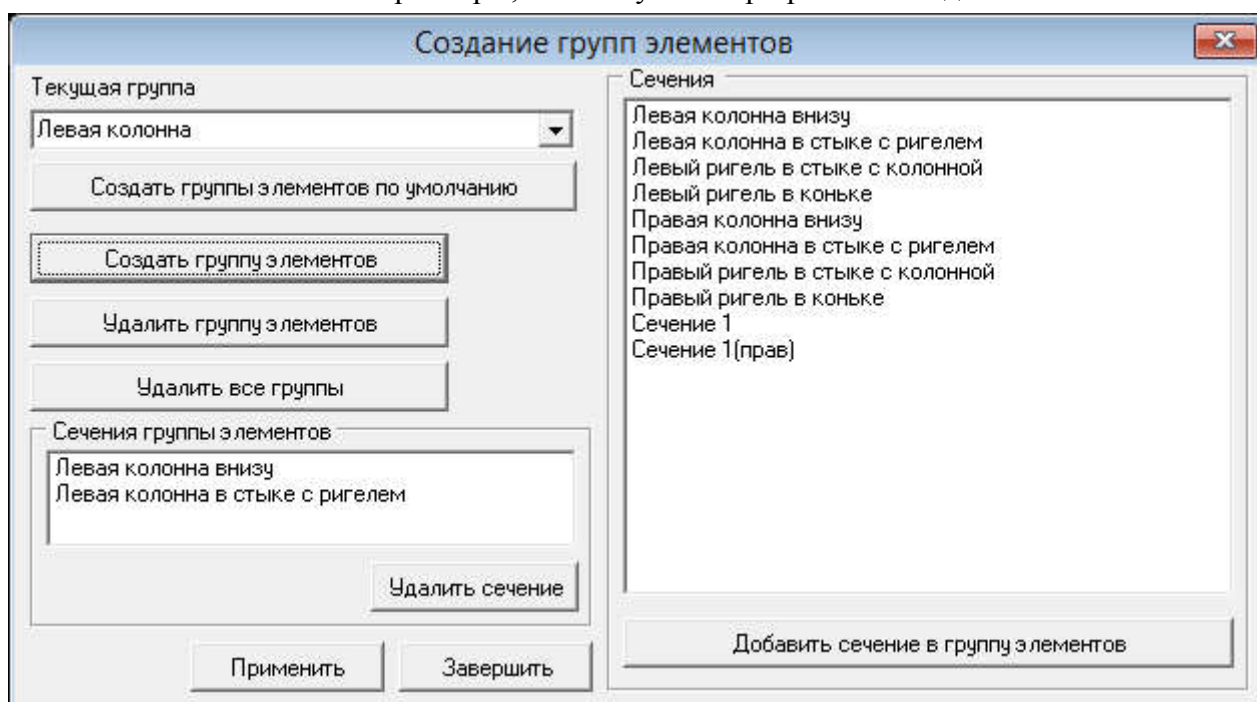


Рис. 3. 9 Диалоговое окно создания групп элементов

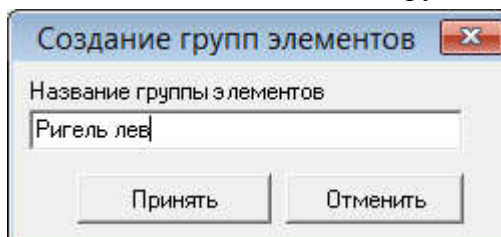


Рис. 3. 10 Диалоговое окно создания групп элементов

С помощью команды **Монтажные стыки и отправочные марки** можно ввести в модель данные о монтажных стыках, а также присвоить названия отправочным маркам, см. рис. 3.11-3.12, которые затем могут быть отображены на модели и выведены в текстовый файл.

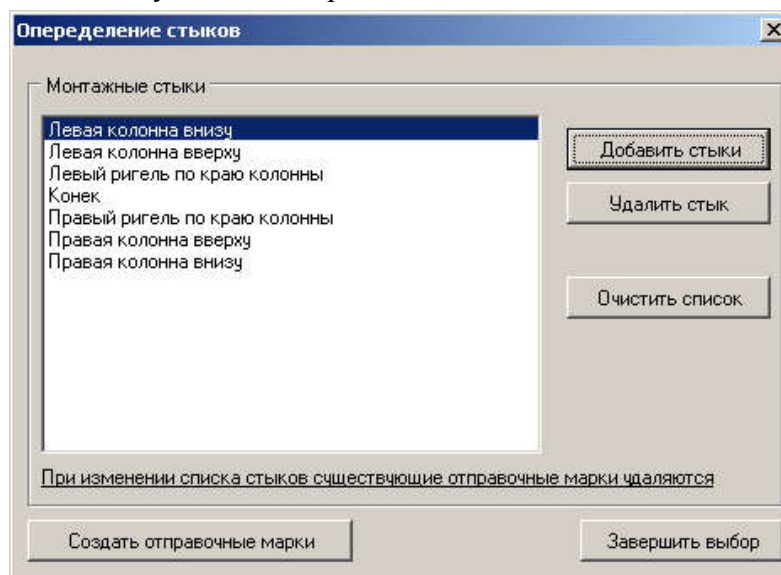


Рис. 3. 11 Диалоговое окно задания монтажных стыков

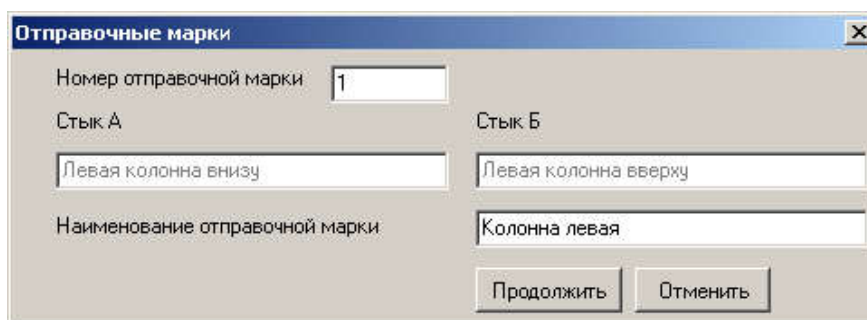


Рис. 3. 12 Диалоговое окно создания отправочных марок

С помощью команды **Типы профилей сечений рамы** для колонн и ригелей типовых рам назначаются либо сварные, либо прокатные двутавры, либо сечения труб по ГОСТ 30245-2003, рис. 3.13. Тип профиля конструктивных элементов произвольных рам назначается при задании конструктивного элемента.

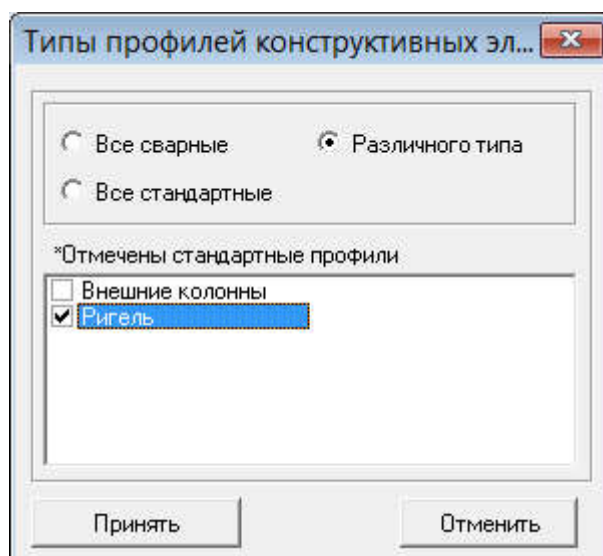


Рис. 3. 13 Диалоговое окно задания типов профилей

Команда **Определить группу сечений** используется для создания групп сечений, внутри которых параметры сечений будут изменяться синхронно при изменении параметров базового сечения, рис. 3.14. Этот инструмент полезен, в частности, при подборе сечений рамы. При любом изменении параметров рамы, сечения группы будут изменены в соответствии с базовым сечением и с правилом группы. Например, имеет смысл создание группы из дополнительного сечения на ригеле (базового) и сечения в коньке с правилом "**Равная толщина стенок и полк, ширина полк**", для того чтобы эти параметры сечения в коньке изменялись автоматически при модификации дополнительного сечения.

С помощью команды **Конвертировать типовую раму в произвольную** проводится преобразования типовой рамы в произвольную, после чего с ней могут производиться операции доступные только для рам произвольного типа.

Команда **Проектирование изолированных узлов** позволяет выполнять проектирование типовых узлов сопряжения. При этом геометрия узла и расчетные сочетания усилий задаются пользователем. Пример панелей интерфейса показан на рис. 3.15–3.16.

После задания исходных данных для проектирования узла выполняются процедуры, описанные в главе 8 – ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ УЗЛОВ.

Проектирование изолированных узлов может выполняться либо в отдельном проекте, либо в проекте какой-либо рамы.

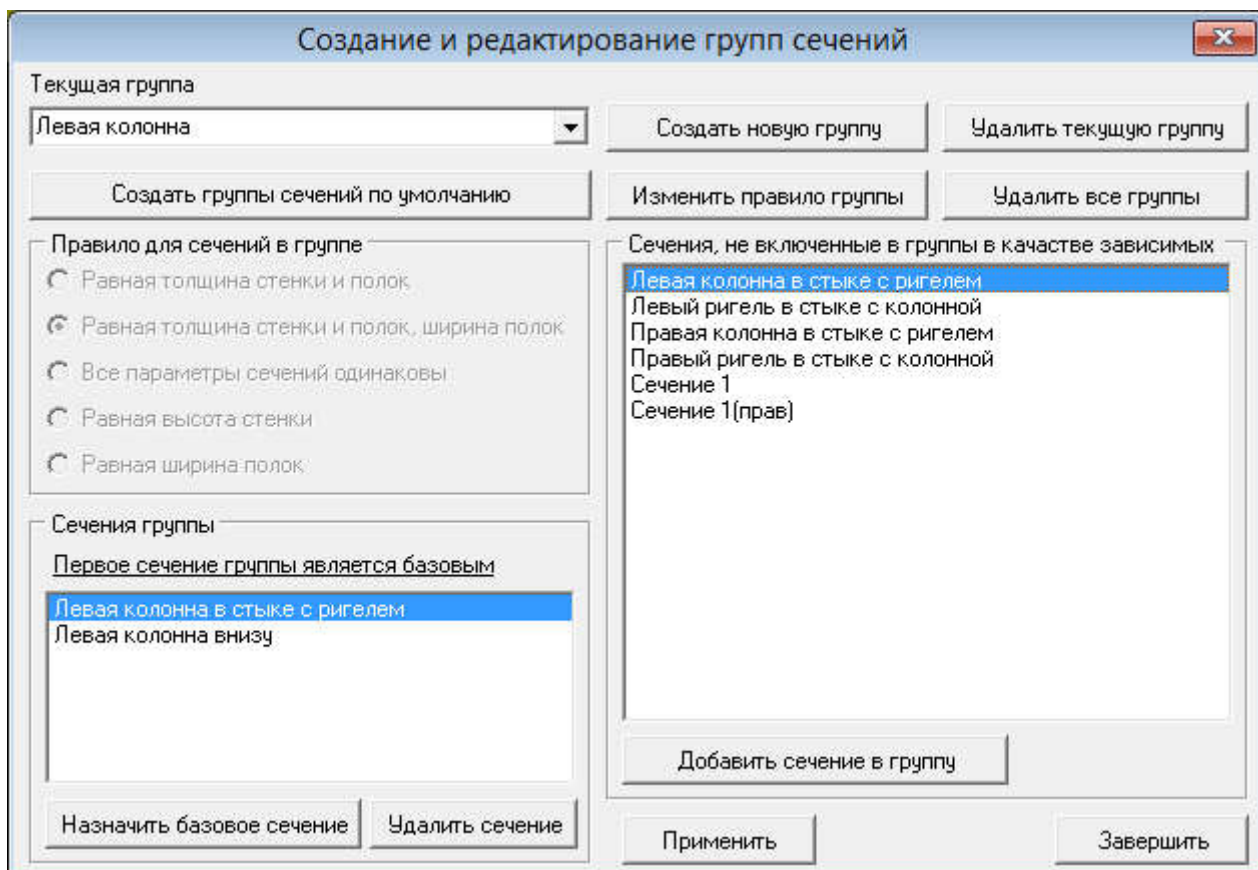


Рис. 3. 14 Диалоговое окно создания и редактирования групп сечений

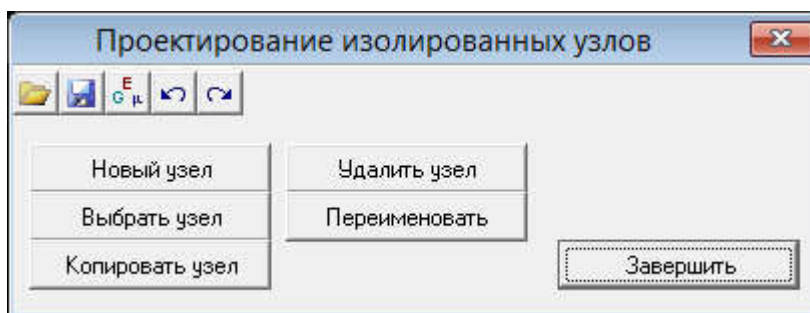


Рис. 3. 15 Диалоговое окно проектирования узлов сопряжения

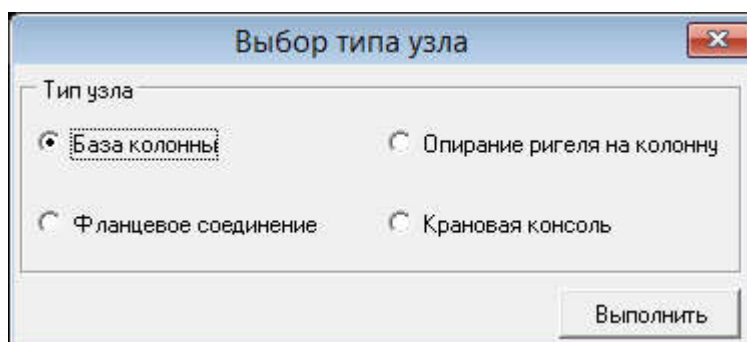


Рис. 3. 16 Диалоговое окно выбора типа узла сопряжения

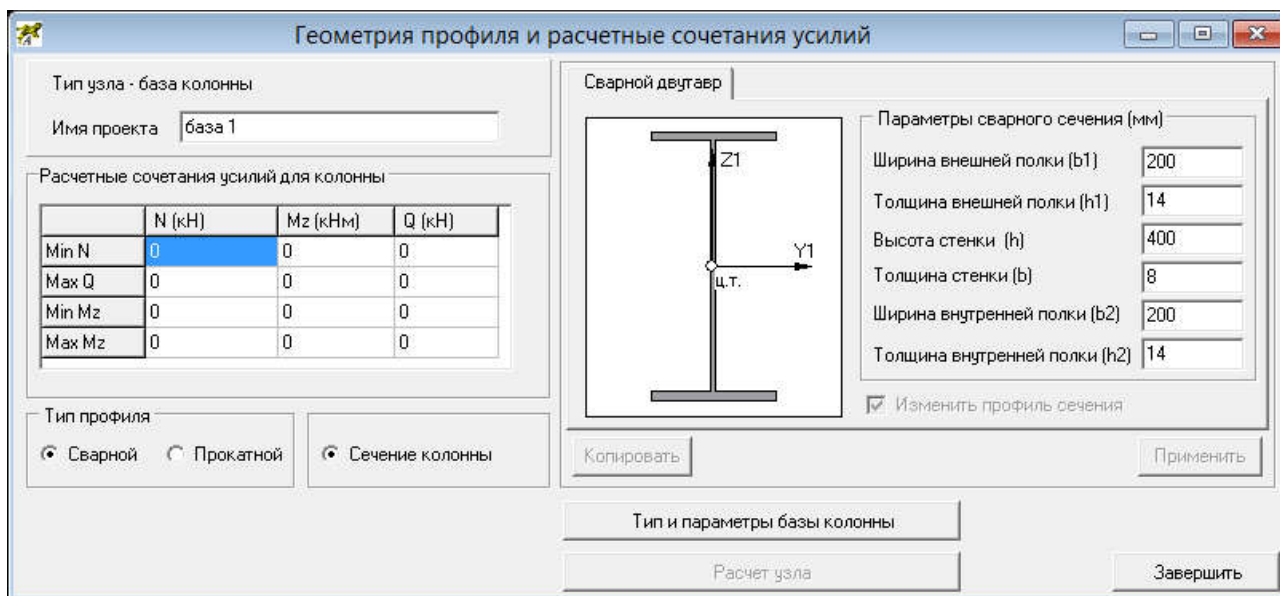


Рис. 3. 17 Диалоговое окно задания условий проектирования узла

Команда **Инструменты** ⇒ **Конвертация файлов SCAD–NASTRAN** вызывает встроенную утилиту, которая преобразует текстовый файл расчетной модели из формата SCAD в формат NASTRAN, см. рис. 3.7.

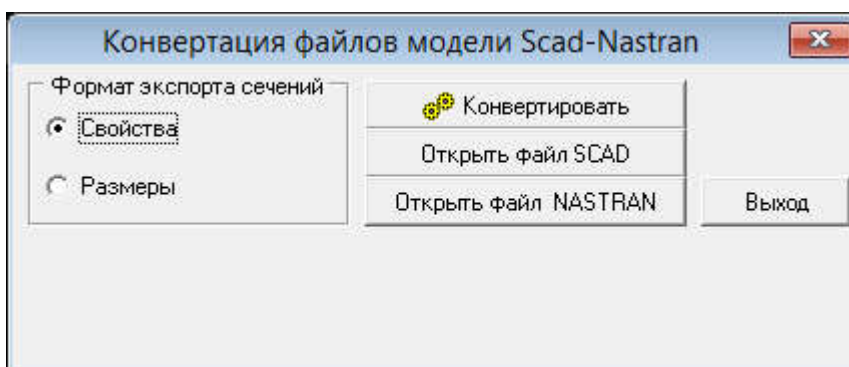


Рис. 3. 18 Диалоговое окно конвертации файла расчетной модели

Команда **Инструменты** ⇒ **Утилиты** открывает доступ к расчетным программам, назначение которых ясно из панели меню, приведенного на рис. 3.19. Диалоговые окна утилиты расчета произвольной балки с учетом продольных усилий приведено на рис. 3.20, 3.21.

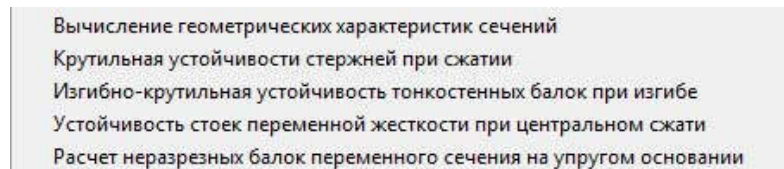


Рис. 3. 19 Подменю утилит

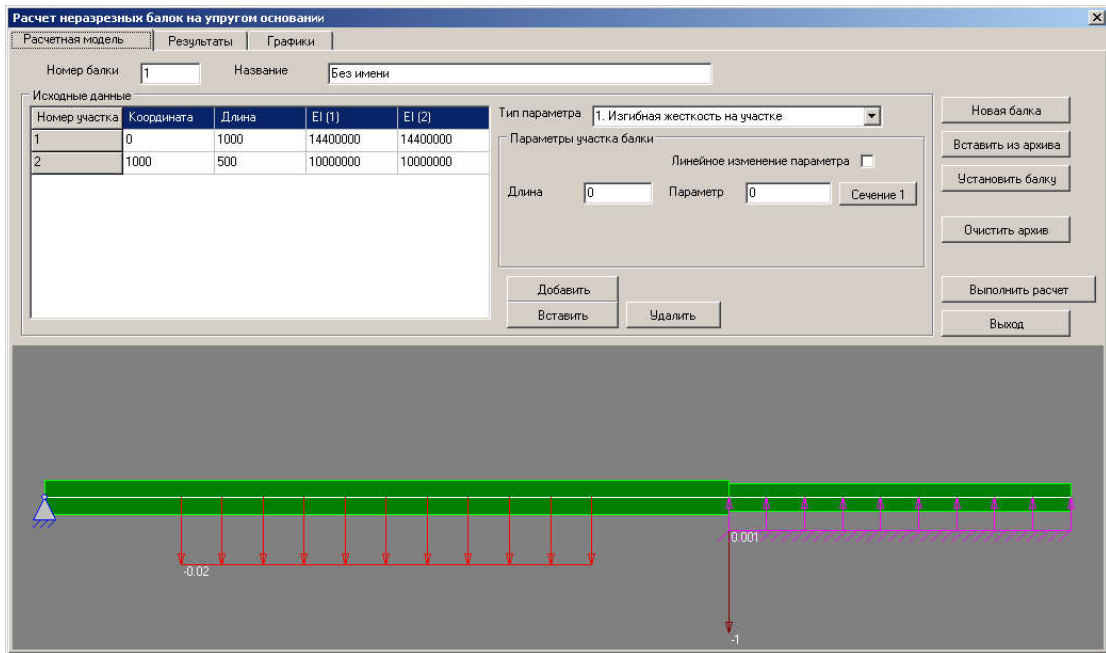


Рис. 3. 20 Диалоговое окно расчета произвольной балки

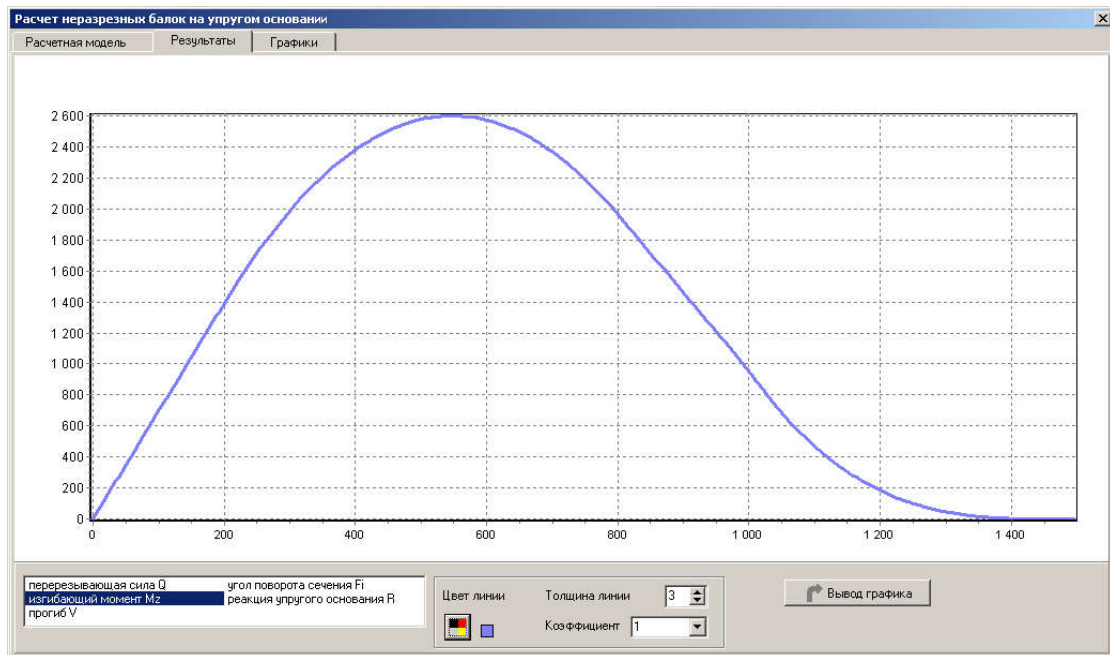


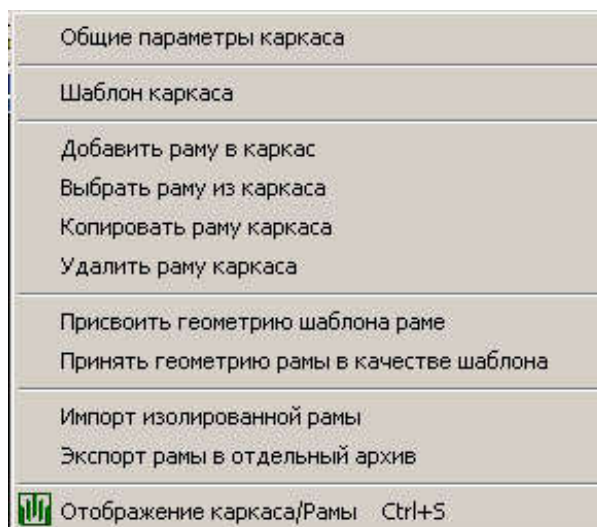
Рис. 3. 21 Диалоговое окно отображения результатов

3.7. Команды работы с каркасом здания

Для создания каркаса в диалоговом окне команды **Файл** ⇒ **Новый проект** следует выбрать опцию **Каркас здания**, рис. 3.22. После задания параметров каркаса и нажатия кнопки **Принять** последовательно появляются окна создания шаблона рам, рис. 3.23, 3.24.

После создания шаблона в Главном меню появляется новый пункт – **Каркас здания**, который содержит команды управления шаблоном и рамами каркаса:

- Команда **Общие параметры каркаса** позволяет изменить размер здания по оси и установить фиксированные параметры каркаса;
- С помощью команды **Шаблон каркаса** в качестве активной рамы устанавливается шаблон и пользователь получает возможность с ним работать;
- С помощью команды **Добавить раму в каркас** создается новая рама, после чего она становится активной и отображается в графическом окне;
- Команда **Выбрать раму из каркаса** позволяет сделать выбранную раму активной и отобразить ее в графическом окне;
- С помощью команды **Копировать раму каркаса** создается одна или несколько новых рам каркаса как копии выбранной рамы;
- Команда **Удалить раму из каркаса** служит для удаления рам;
- С помощью команды **Присвоить параметры шаблона раме** на выбранную раму переносятся все геометрические параметры шаблона;
- С помощью команды **Принять параметры рамы в качестве шаблона** выбранная рама принимается в качестве шаблона каркаса, а прежний шаблон удаляется.
- Команда **Импорт изолированной рамы** позволяет импортировать раму из другого архива;
- Команда **Экспорт рамы в отдельный архив** позволяет создать архив с моделью одной из рам каркаса;
- С помощью команды **Отображение каркаса/Рамы (Ctrl+S)** можно включать или выключать одновременное отображение всех рам каркаса.



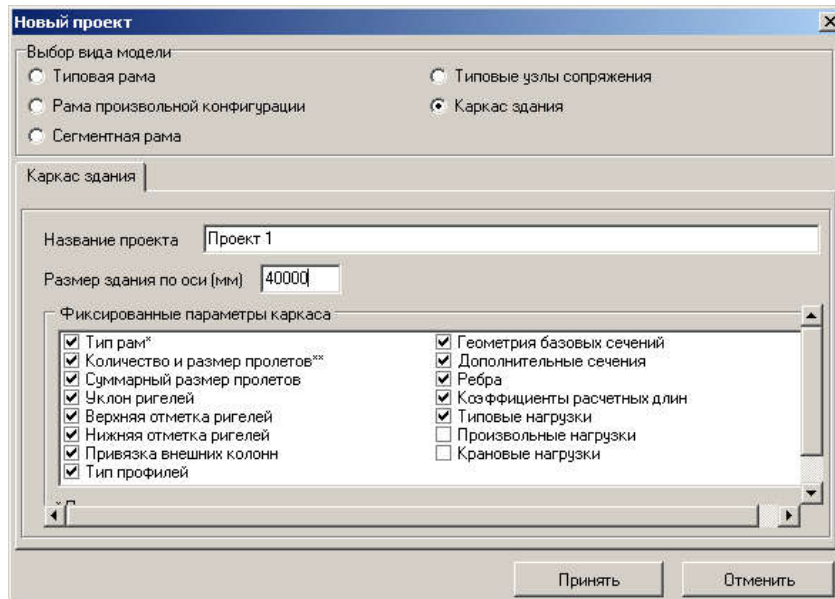


Рис. 3. 22 Определение фиксированных параметров каркаса, задание размера здания по оси

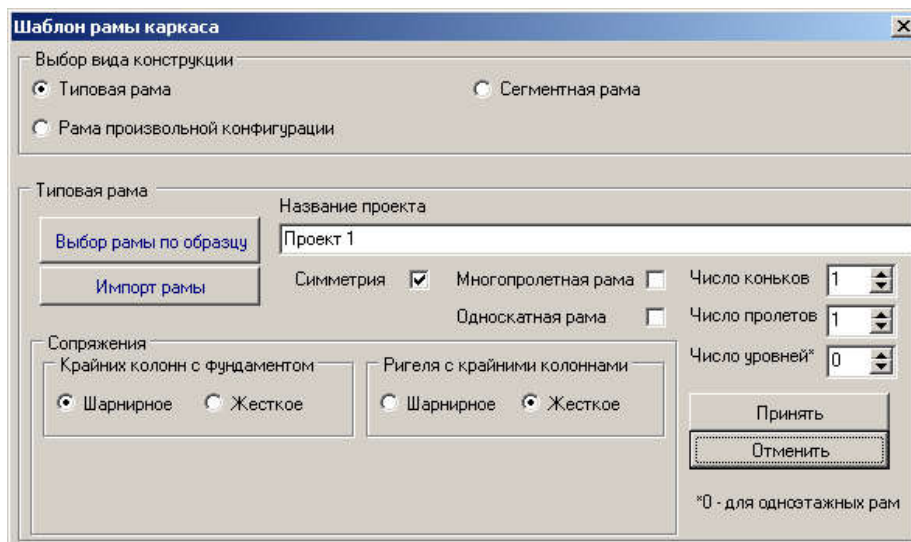


Рис. 3. 23 Выбор типа рамы для шаблона

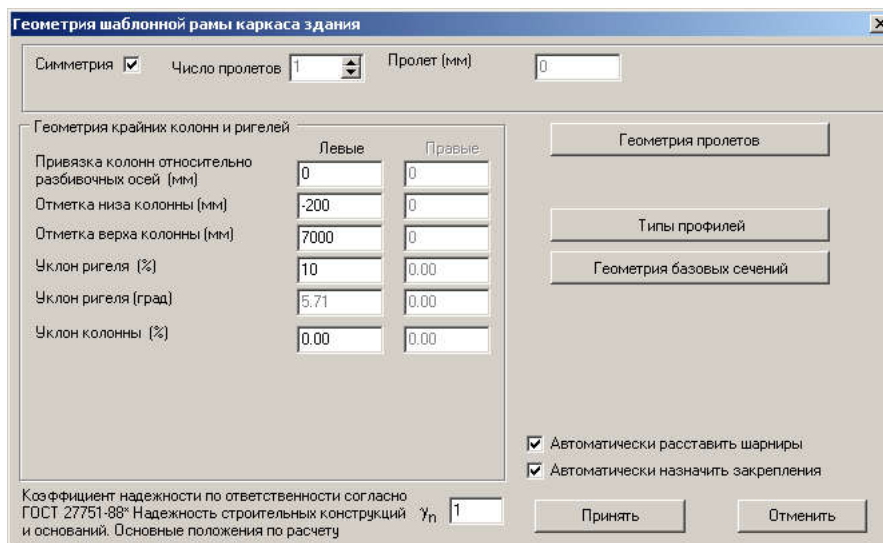


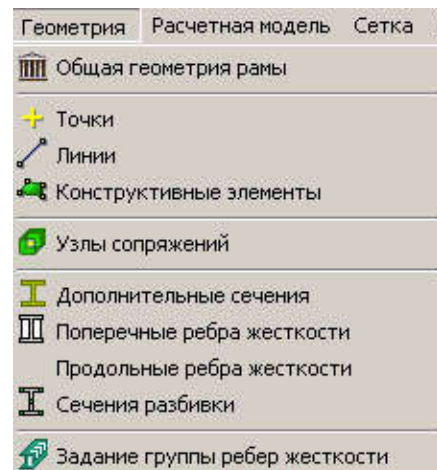
Рис. 3. 24 Задание геометрических параметров шаблона рам

4. Создание геометрической модели – меню Геометрия

Геометрическая модель рамы является основой для построения конечно-элементных сеток. Процесс построения геометрической модели начинается с задания общей геометрии рамы в диалоговом окне, конфигурация которого соответствует выбранному типу рамы.

Задание общей геометрии рамы осуществляется либо командой **Геометрия** ⇒ **Общая геометрия рамы**, либо последовательностью команд **Файл** ⇒ **Новая схема**; **<Применить>**.

В зависимости от выбранного типа рамы геометрия задается либо в терминах рамы, либо в терминах конструктивных элементов.



4.1. Создание геометрии типовой рамы

Геометрия типовой рамы определяется числом и размером пролетов, привязкой и высотой колонн, уклоном ригелей, и начинается с выбора основных параметров в диалоговом окне, рис. 4.1. После нажатия кнопки **Применить**, в следующем диалоговом окне, рис. 4.2, назначаются числовые значения параметров, определяющих конструкцию рамы.

После задания геометрии крайних колонн и ригелей с помощью кнопки **Геометрия пролетов** задаются размеры пролетов, затем назначаются типы профилей (сварные или стандартные) для конструктивных элементов рамы. После этого назначаются размеры основных сечений рамы в диалоговом окне, показанном на рис. 4.3.

При изменении любого из заданных параметров, геометрия рамы автоматически перестраивается.

Пример создания типовой рамы приведен в разделе 13.1.

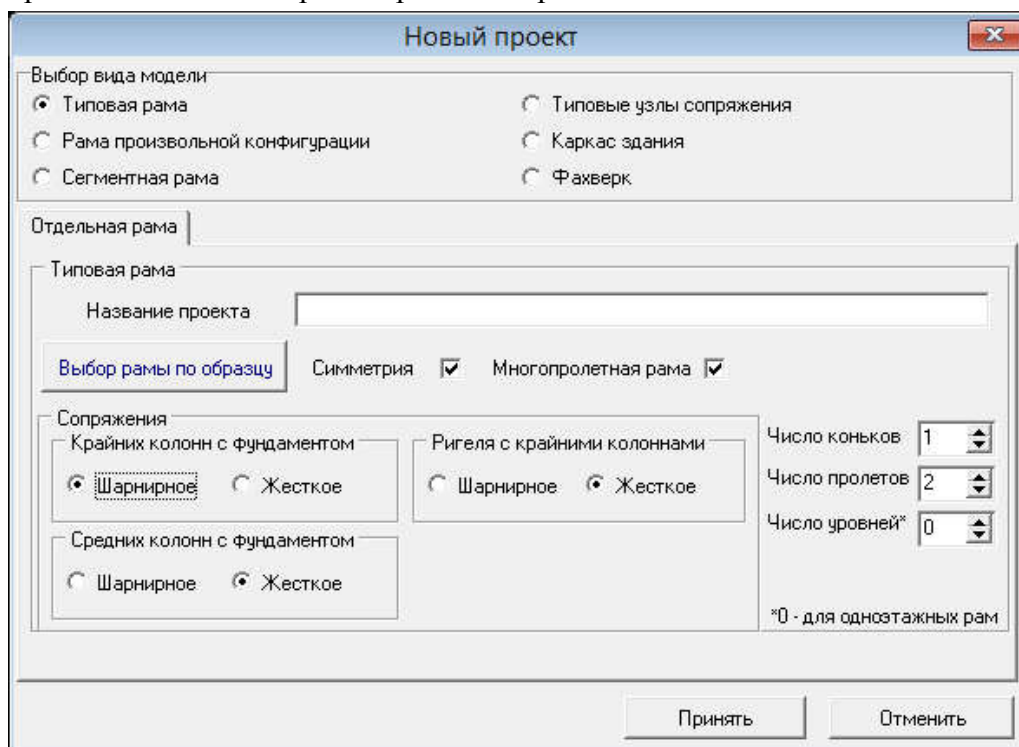


Рис. 4. 1. Диалоговое окно задания основных параметров типовой рамы

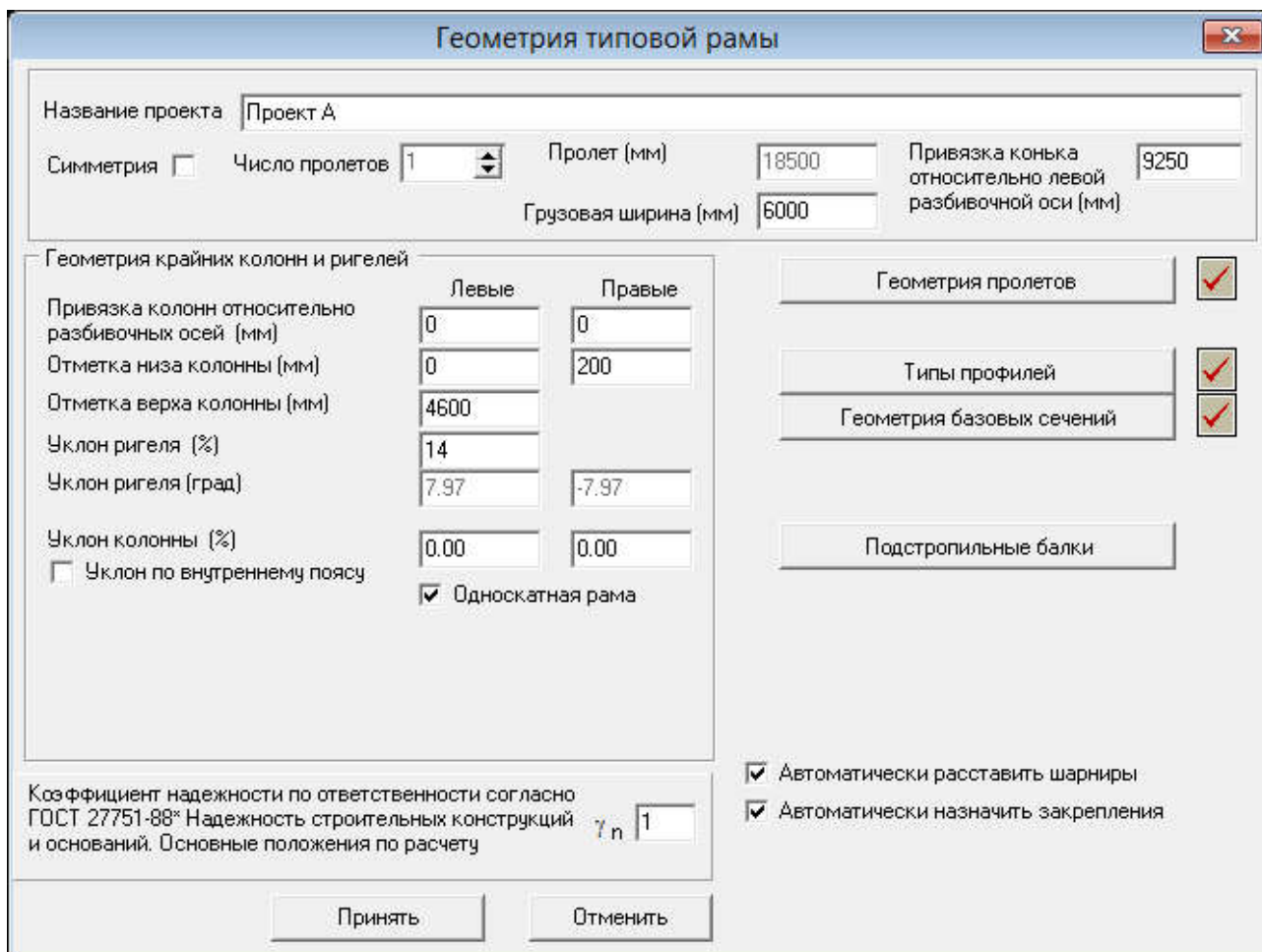


Рис. 4. 2. Диалоговое окно задания размеров, определяющих геометрию типовой рамы

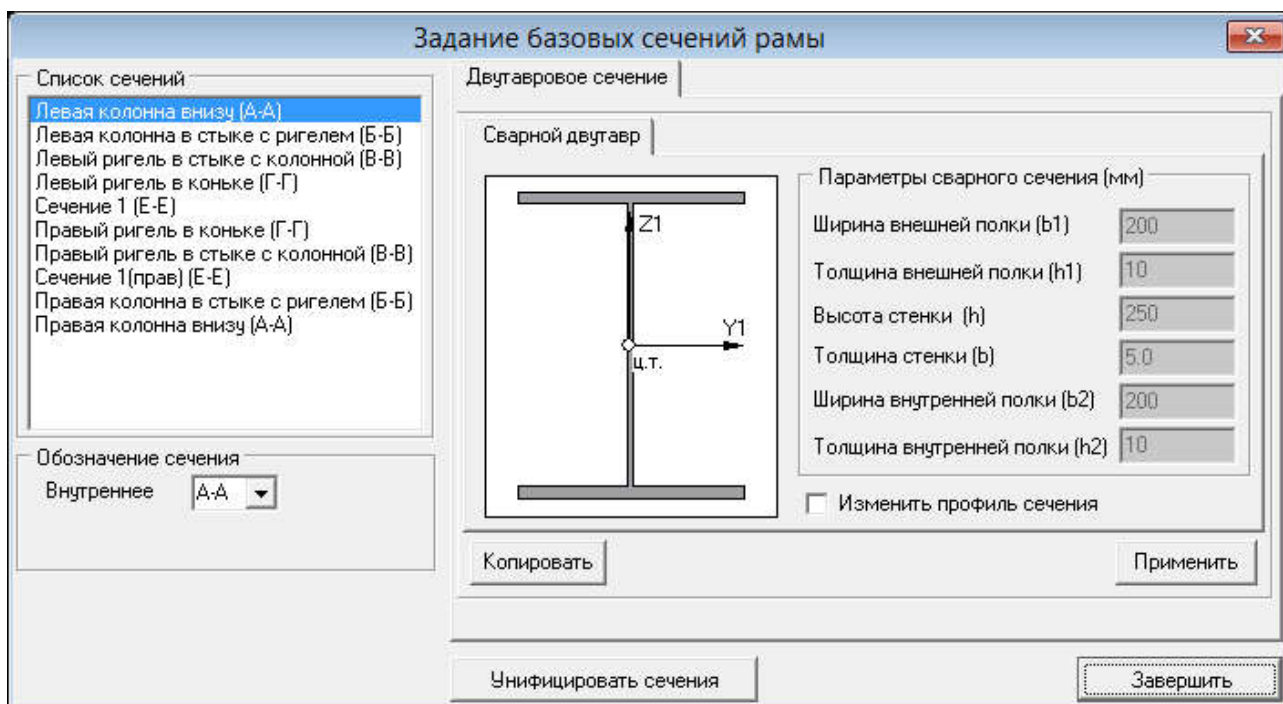


Рис. 4. 3. Диалоговое окно задания основных сечений типовой рамы

4.2. Подстропильные балки

Подстропильные балки можно включать в модели многопролетных одноконьковых рам.

Поскольку предполагается, что подстропильные балки опираются на внутренние колонны соседних рам, количество пролетов и геометрия рамы задаются таким же, как для соседних рам с внутренними колоннами.

Сечения предполагаемых внутренних колонн и сечения над колоннами также должны быть заданы.

Параметры подстропильных рам задаются при задании геометрии рамы в диалоговом окне команды **Геометрия** ⇒ **Общая геометрия рамы** нажатием кнопки **<Подстропильные балки>**, при этом открывается окно, показанное на рис. 3.2.

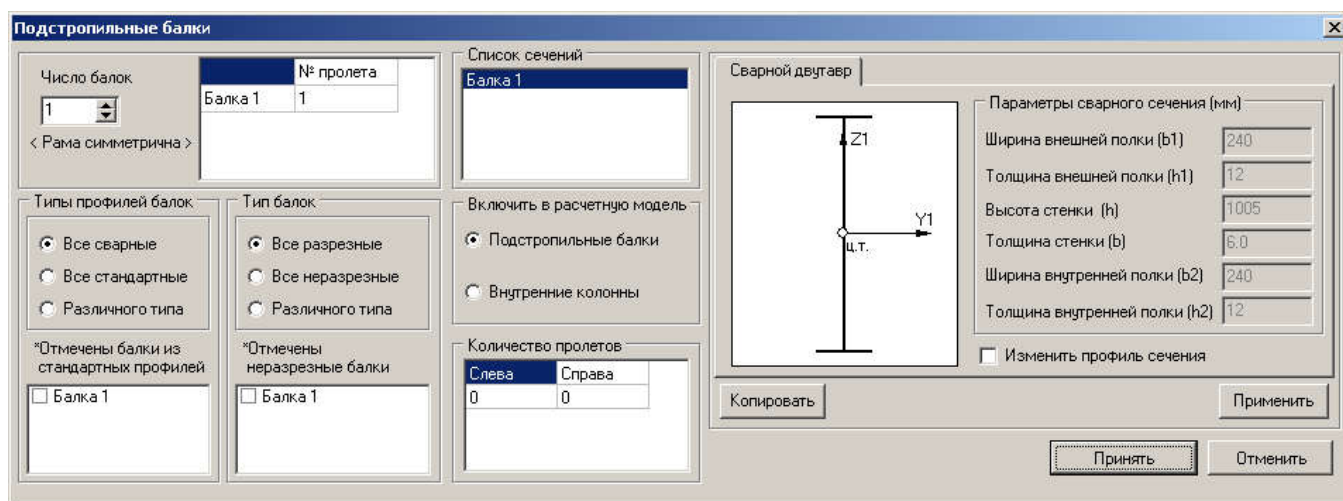


Рис. 3. 25 Диалоговое окно задания параметров подстропильных балок

В диалоговом окне задается число балок, при этом на панелях типов профилей и балок, списка сечений отображаются балки с учетом симметрии рамы.

Для балки задается колонна пролета (№ пролета) на которую балка опирается. Если выбирается тип “неразрезная”, нужно задать количество рам (пролетов) справа и слева, на колонны которых опирается балка, не считая соседние рамы. Нулевые значения эквивалентны неразрезной балке.

Выбирая одну из опций на панели **Включить в расчетную модель** можно выполнять расчет либо с балками, либо с колоннами. Заданные балки при этом остаются в базе данных модели.

На подстропильных балках могут быть заданы дополнительные сечения. Также, сечения подстропильных балок можно включать в группы сечений и в изгибаемые элементы для выполнения подбора сечений.

4.3. Фахверки

Для рам с моментным опиранием колонн на фундамент предусмотрено преобразование в фахверковые рамы. Для этого используется флаг **Рама фахверка** в окне команды **Геомет-**

рия ⇒ **Общая геометрия рамы**, см. рис. 4.4. При включении этого флага, сечения колонн поворачиваются на 90° вокруг вертикальной оси.

Для задания связей фахверка используется кнопка **<Растяжки фахверка>**, рис. 4.5.

Геометрия типовой рамы

Название проекта: Без имени

Симметрия: Число пролетов: 3 Суммарный пролет (мм): 28000 Грузовая ширина (мм): 6000

	Левые	Правые
Привязка колонн относительно разбивочных осей (мм)	500	500
Отметка низа колонны (мм)	0	0
Отметка верха колонны (мм)	4000	4000
Уклон ригеля (%)	20	20.00
Уклон ригеля (град)	11.31	11.31
Уклон колонны (%)	0.00	0.00

Уклон по внутреннему поясу Односкатная рама

Сопряжение ригеля с крайними колоннами

Кoeffициент надежности по ответственности согласно ГОСТ 27751-88: Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету γ_n 1

Автоматически расставить шарниры
 Автоматически назначить крепления
 Рама фахверка

Геометрия пролетов
 Типы профилей
 Геометрия базовых сечений
 Подстропильные балки
 При выполнении анализа считать, что ригель работает как балка с гибкой стенкой

Растяжки фахверка

Принять Отменить

Рис. 4. 4. Диалоговое окно задания общей геометрии фахверковой рамы

Связи фахверка

Диагональные связи

Пролет 1 Пролет 2

Площадь поперечного сечения (мм²): 1000

< Рама симметрична >

Принять Отменить

Рис. 4. 5. Диалоговое окно задания связей фахверка

4.4. Создание геометрии произвольной рамы

Геометрия произвольной рамы базируется на осевых линиях. Для задания осевых линий используются простейшие геометрические объекты – точки и линии. Точки используются при задании линий и для ссылок на узлы сопряжения конструктивных элементов. Точки создаются либо пользователем с помощью команды **Геометрия** ⇒ **Точка**, либо автоматически в процессе создания линий.

Команда **Геометрия** ⇒ **Линия** позволяет создать линию одним из доступных методов:

- построение линии в одной из координатных плоскостей заданием координат концов линии;
- построение линии в 3-х мерном пространстве заданием координат концов линии;
- построение линии по двум существующим точкам;
- построение непрерывной ломаной линии последовательным заданием координат ее точек.

На рис. 4.4–4.5. приводятся диалоговые окна создания точек и линий. Точки и линии могут создаваться также в процессе задания геометрии произвольной рамы, в диалоговом окне, приведенном на рис. 4.6.

Описание геометрии конструктивных элементов включает в себя, рис. 4.7:

- номер линии, к которой будет привязана осевая линия элемента;
- вектор ориентации элемента, который указывает положение внешней грани элемента. Внешняя грань используется, в том числе, при назначении нагрузок;
- расположение осевой линии - по внешней грани/по внутренней грани/по нейтральной линии;
- тип сечения элемента;
- размеры концевых сечений.

Узлы сопряжения конструктивных элементов определяются уникальным номером точки, в которой соединяются оси (линии) конструктивных элементов.

Команда **Геометрия** ⇒ **Узлы сопряжений**, рис. 4.8, используется, во-первых, для назначения места расположения узла конечно-элементной сетки, когда в точке соединяются больше двух конструктивных элементов и их оси не пересекаются в одной точке. Во-вторых, команда позволяет назначить конструктивное исполнение узла для того, чтобы в нем можно было спректировать один из типовых узлов сопряжения.

Пример создания произвольной рамы приведен в разделе 13.4.

Рис. 4. 6. Диалоговое окно задания точек

Рис. 4. 7. Диалоговое окно задания линий

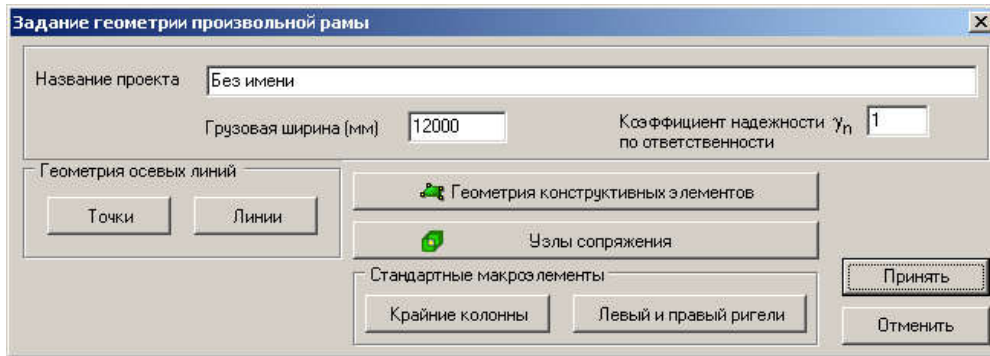


Рис. 4. 8. Диалоговое окно задания геометрии произвольной рамы

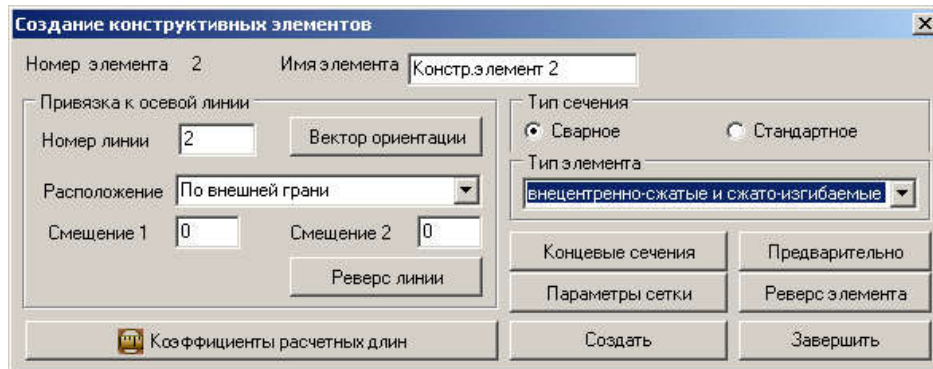


Рис. 4. 9. Диалоговое окно создания конструктивного элемента

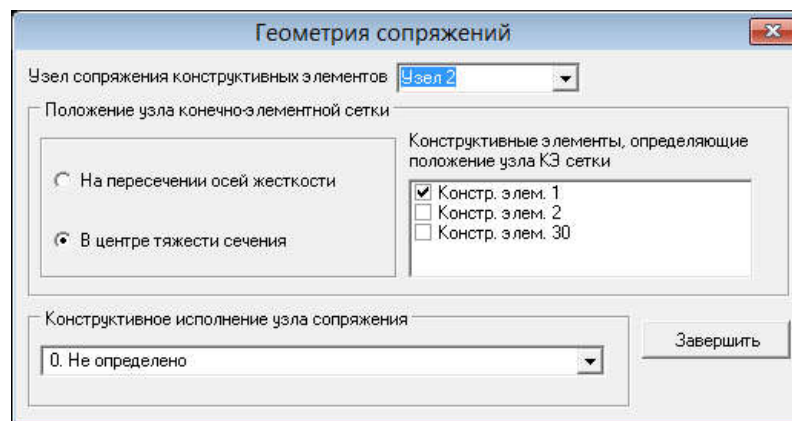


Рис. 4. 10. Диалоговое окно задания узлов сопряжений

4.5. Дополнительные сечения, ребра и сечения разбивки

Дополнительные сечения позволяют уточнить геометрию конструктивных элементов. Эти сечения задаются командой **Геометрия** \Rightarrow **Дополнительные сечения**, рис. 4.9. Дополнительное сечение задает толщину стенки, ширину и толщину полков, которые будет иметь балка справа от сечения для левых конструктивных элементов (и наоборот), а также высоту стенки в этом сечении.

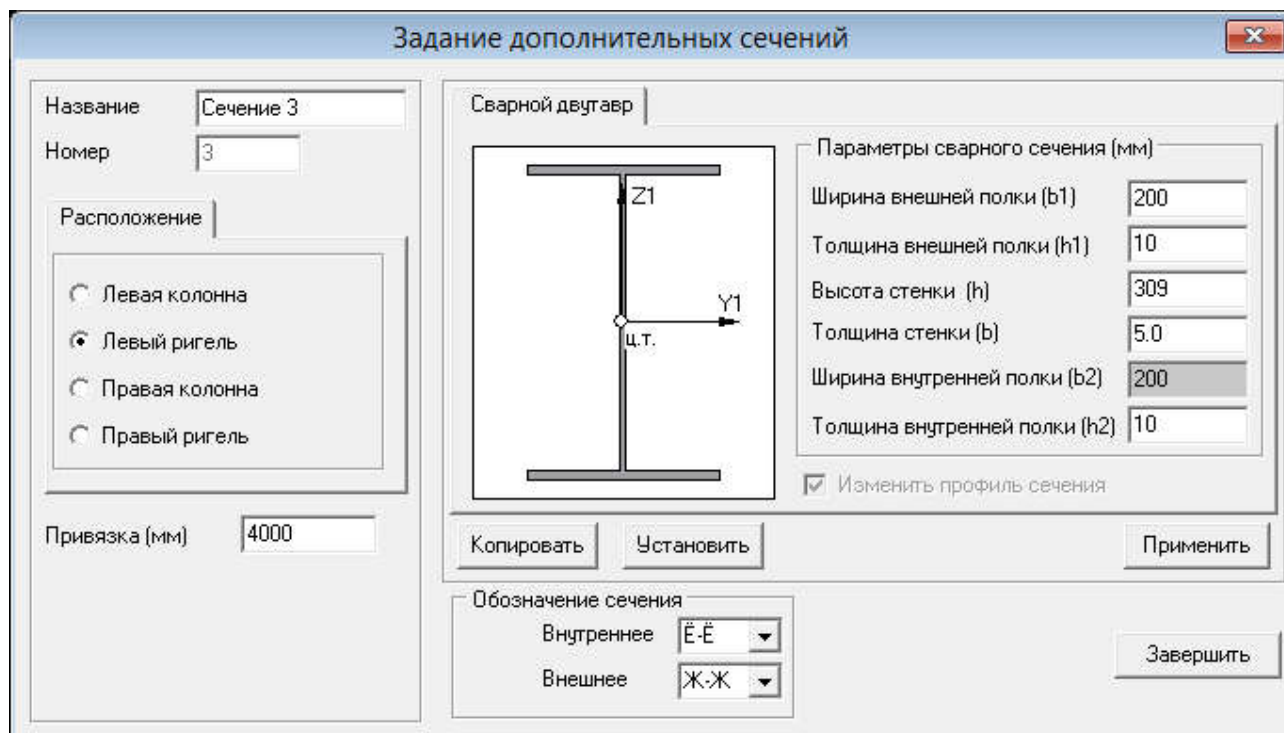


Рис. 4. 11. Диалоговое окно задания дополнительных сечений для типовой рамы

Поперечные ребра жесткости задаются командой **Геометрия** \Rightarrow **Ребра жесткости**. При разбиении модели конечными элементами типа балка ребра служат границами отсеков стенки профиля при проведении проверок местной устойчивости.* При разбиении элементами оболочки ребра включаются в расчетную модель. Диалоговые окна задания ребер показаны на рис. 4.10 – 4.12.

Команда **Геометрия** \Rightarrow **Задание группы ребер жесткости** аналогична предыдущей команде. Отличие состоит в том, что здесь создается сразу несколько ребер, а их количество обусловлено заданными привязками первого и последнего ребра, а также максимальным шагом ребер.

Продольные ребра жесткости. Предполагается, что продольное ребро ограничено с двух сторон поперечными ребрами, поэтому создание продольного ребра порождает два дополнительных поперечных ребра. Диалоговое окно создания продольных ребер жесткости показано на рис. 4.13. Продольные ребра жесткости имеют смысл только при последующем создании оболочечной модели рамы.

* Для многоконьковой рамы рекомендуется указывать позицию ребра на ригелях не меньше чем половина высоты профиля колонны

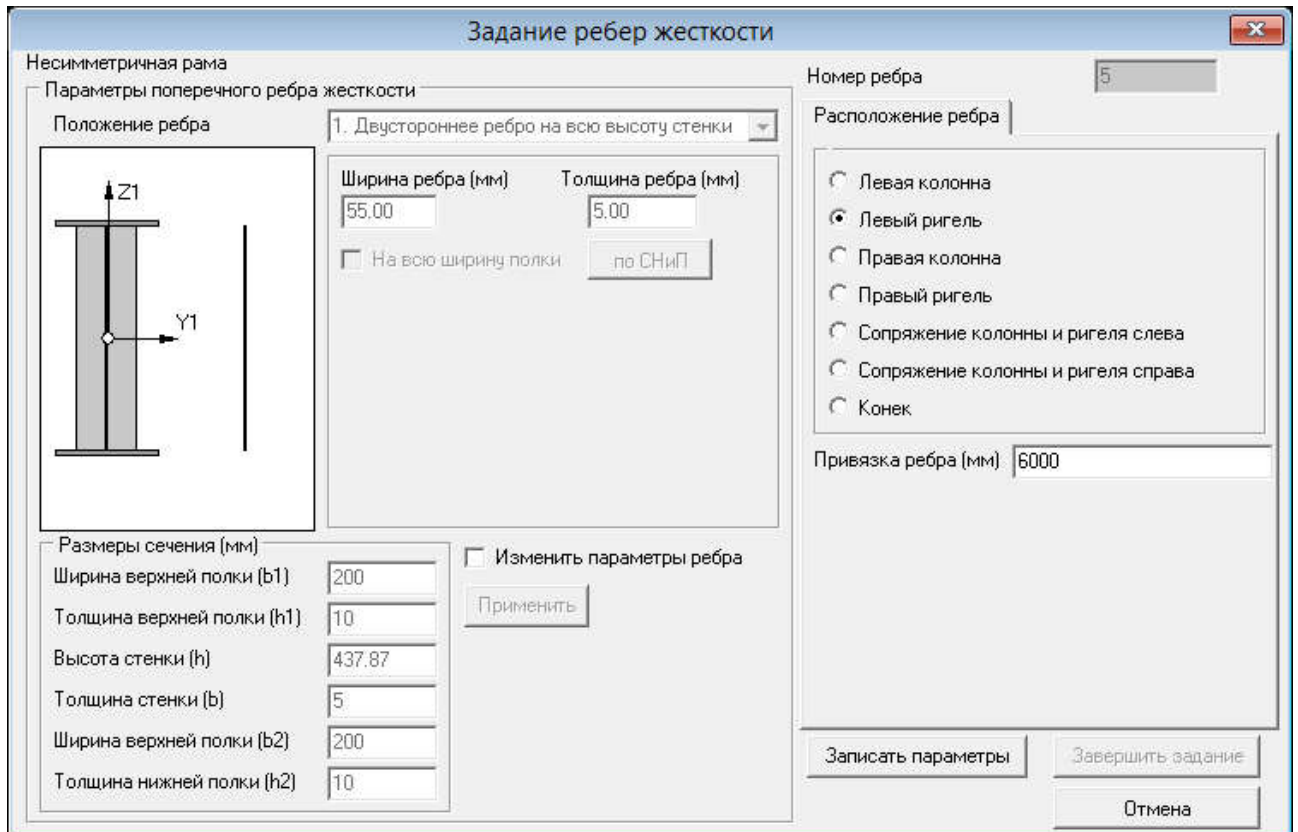


Рис. 4. 12. Диалоговое окно задания поперечных ребер жесткости

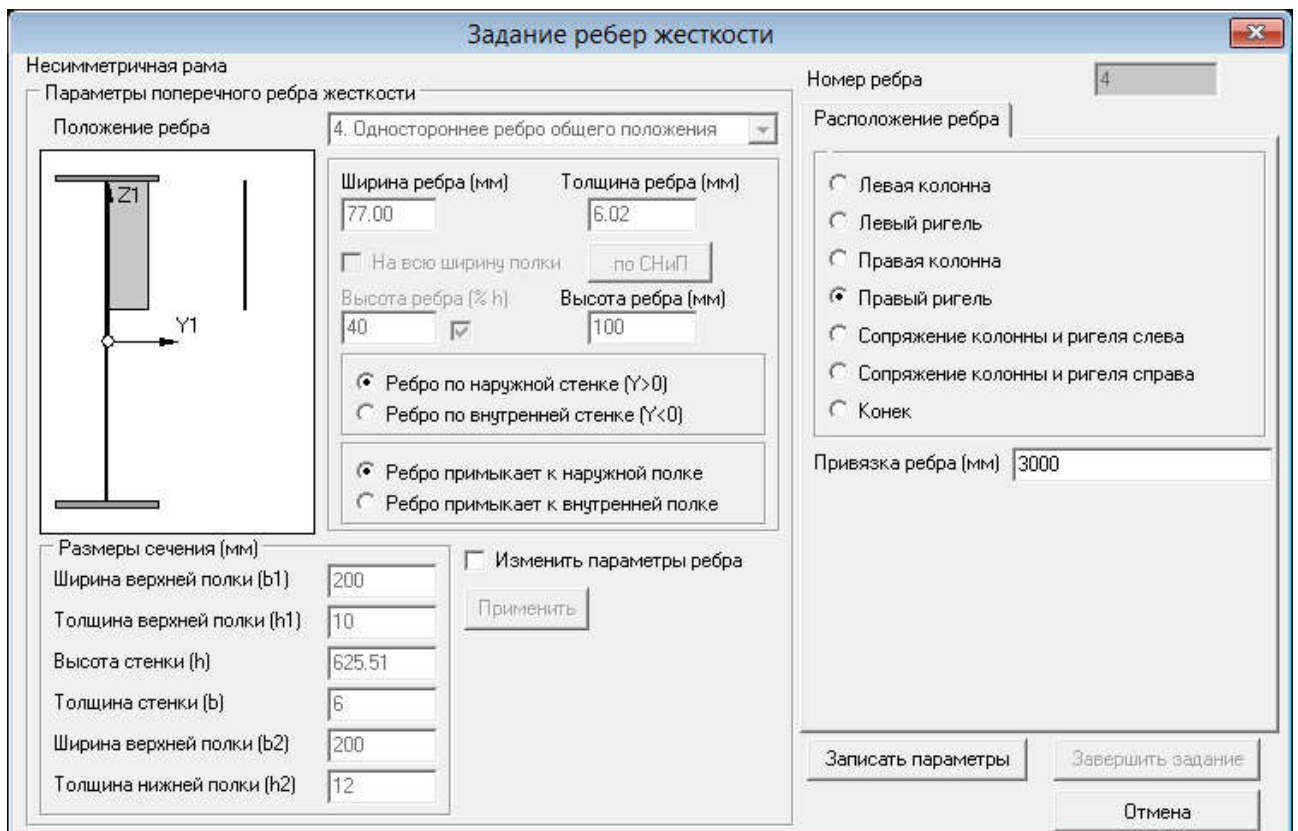


Рис. 4. 13. Диалоговое окно задания поперечных ребер жесткости в конфигурации задания одностороннего ребра общего положения

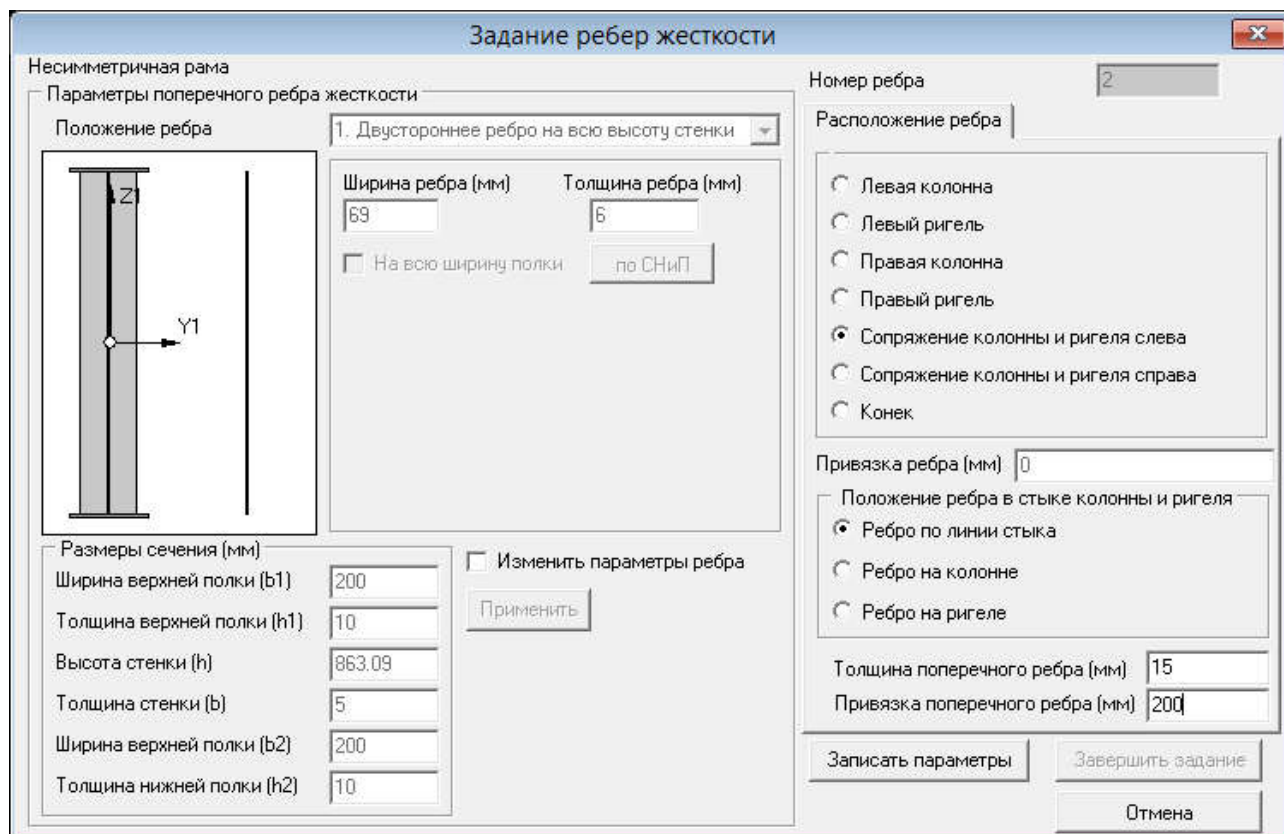


Рис. 4. 14. Диалоговое окно задания ребер жесткости в конфигурации задания ребер в стыке колонны и ригеля

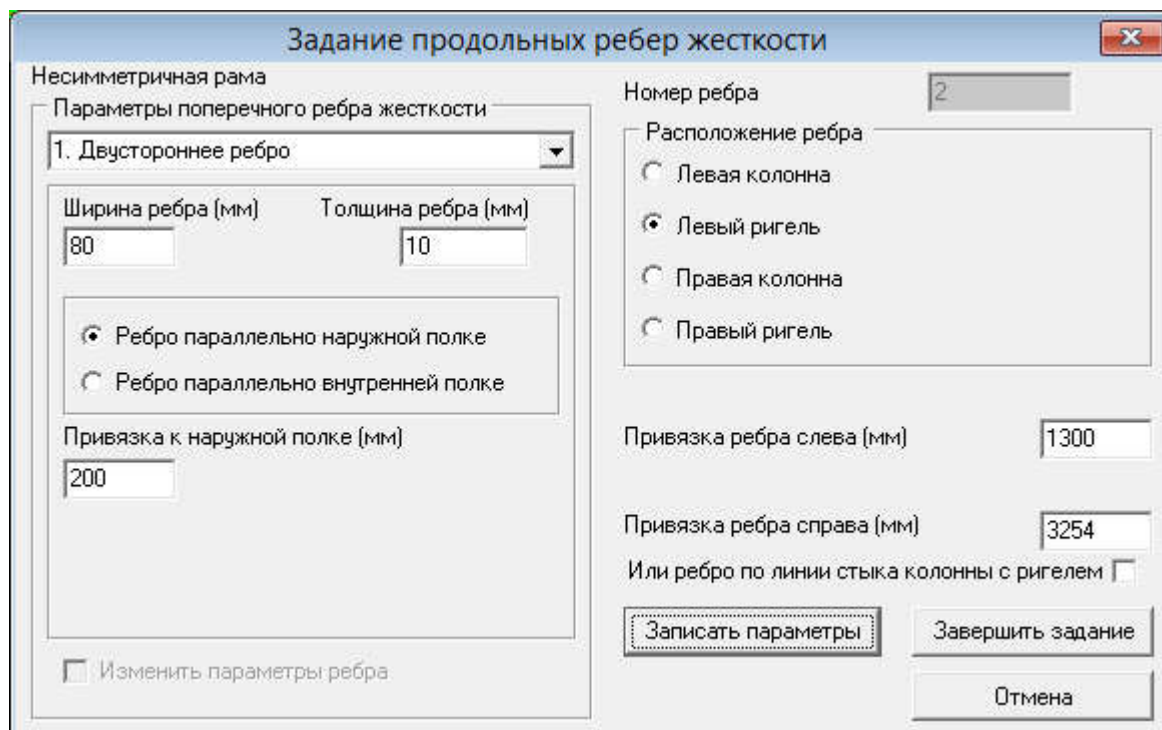


Рис. 4. 15. Диалоговое окно задания продольных ребер жесткости

Создание сечений разбивки. Сечения разбивки обычно создаются автоматически при задании нагрузок, закреплений, шарниров и сосредоточенных масс. Пользователь также может задать требуемое сечение разбивки вручную, с помощью соответствующей команды.

Для некоторых типовых рам могут быть заданы параметры затяжки в диалоговом окне, рис. 4.15.

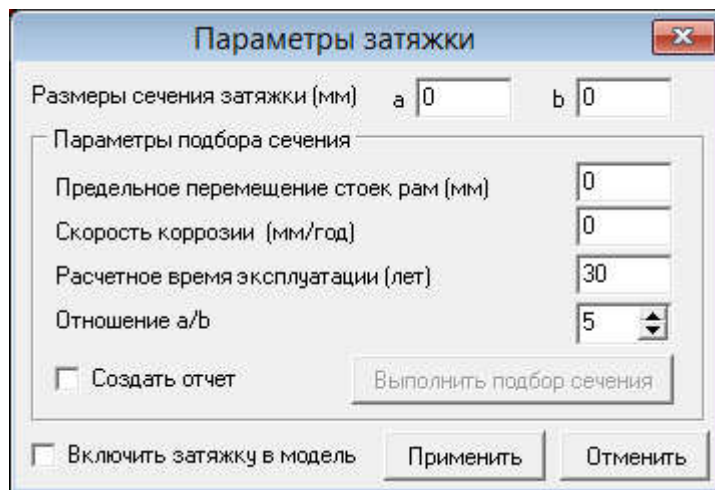


Рис. 4. 16. Диалоговое окно задания параметров затяжки

5. Расчетная модель

Параметры расчетной модели, к которым относятся свойства материала, коэффициенты расчетных длин, нагрузки, крепления, сосредоточенные массы и шарниры, задаются с помощью команд меню **Расчетная Модель**.

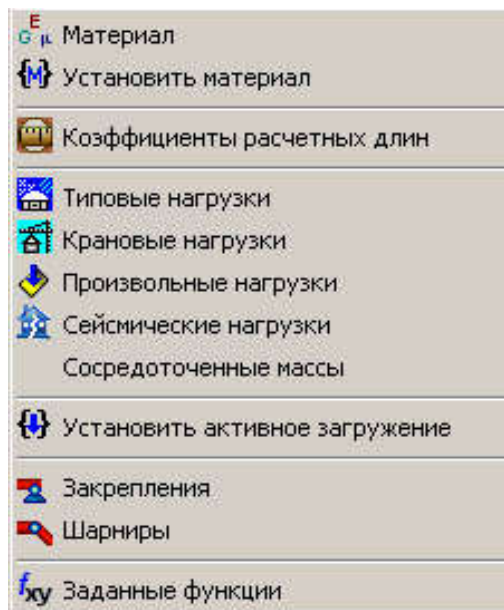
Создание материала. В модели может быть задано несколько материалов, но проверки несущей способности выполняются только для установленного материала, и транслируется в текстовый файл при экспорте также только установленный материал. Материал может быть создан и установлен командами **Модель** ⇒ **Создать материал** и **Модель** ⇒ **Установить материал**, соответственно. По умолчанию предлагается создать материал, имеющий упруго-массовые свойства, соответствующие стали, рис. 5.1. От пользователя требуется выбрать из выпадающего списка марку стали по ГОСТ 27772-88. Нормативные и расчетные сопротивления для выбранного материала устанавливаются в соответствии с толщиной листа. По умолчанию вновь созданный материал считается установленным. Изменение установленного материала осуществляется выбором соответствующего материала, рис. 5.2.

Рекомендуется, чтобы между заданными параметрами E , G , ν выполнялось соотношение

$$\left| G - \frac{E}{2(1 + \nu)} \right| < 0.001E$$

При задании одного из параметров равным нулю, его значение определяется по этому соотношению.

Для текущего состояния геометрической модели рамы автоматически вычисляется масса конструкции рамы. При вычислении массы рамы объем всех конструктивных элементов, включая ребра, умножается на плотность материала. Масса рамы отображается в статусной строке.



Создать материал

Номер: Марка стали по ГОСТ 27772-88 (по табл. В.5 СП 16.13330.2011):

Упругие свойства

Модуль Юнга, E (МПа):

Модуль сдвига, G (МПа):

Коэффициент Пуассона, μ :

Нормативные и расчетные сопротивления для толщины проката от 2 до 20 мм

Предел текучести $R_{пп}$ (МПа):

Временное сопротивление растяжению $R_{пп}$ (МПа):

Расчетное сопротивление растяжению, сжатию и изгибу R_y (МПа):

Максимальная толщина листа (мм):

Плотность (кг/м³): Коэффициент надежности по материалу γ_m :

Рис. 5. 1. Диалоговое окно создания материала

Выбрать материал

1. C345
2. C245

Рис. 5. 2. Диалоговое окно выбора установленного материала

Задание коэффициентов расчетных длин. Желательно, чтобы коэффициенты расчетных длин конструктивных элементов были заданы сразу после того, как будет закончено задание основных параметров. Это необходимо для того, чтобы можно было выполнять проверку ограничений по свесам. Коэффициенты расчетных длин также используются при проверках прочности, устойчивости и при экспорте модели в формате программы SCAD.

Коэффициенты расчетных длин для ригелей и колонн в плоскости рамы и из плоскости рамы можно задать в диалоговом окне, рис. 5.3–5.4.

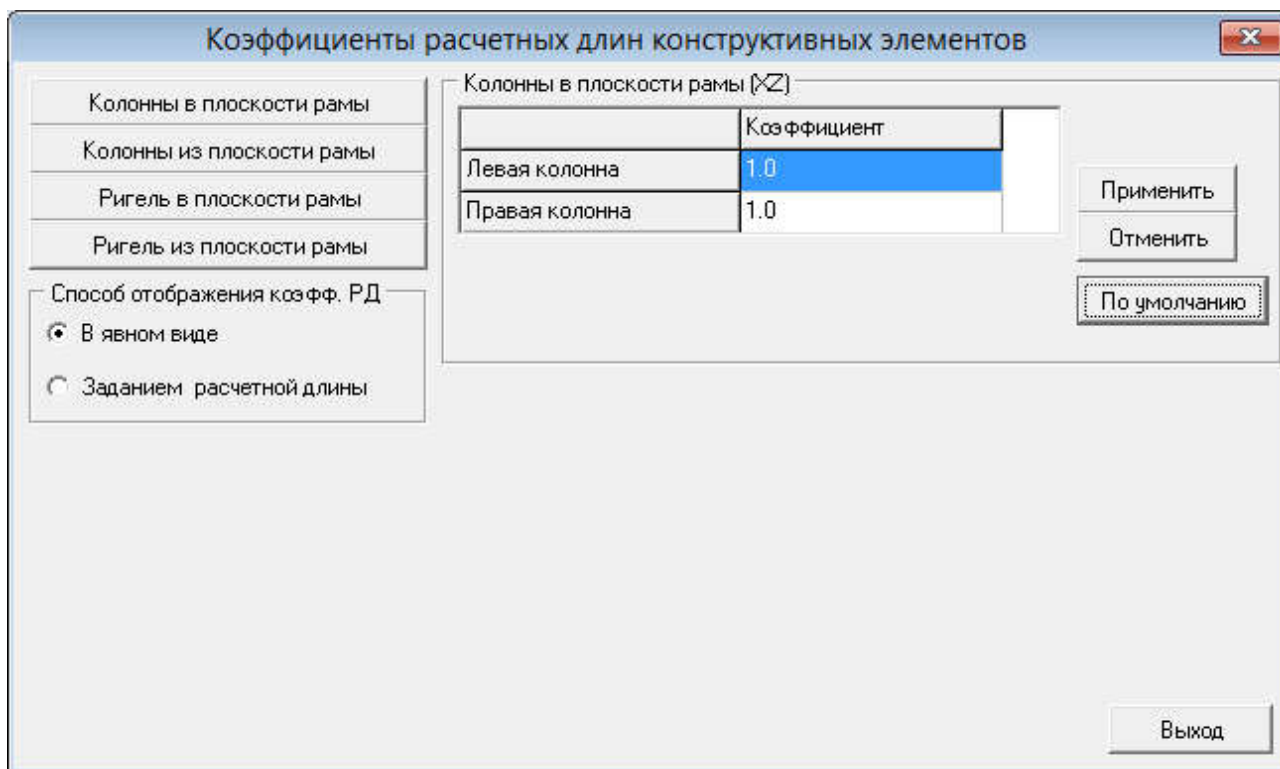


Рис. 5. 3. Задание коэффициентов расчетных длин для несимметричной рамы

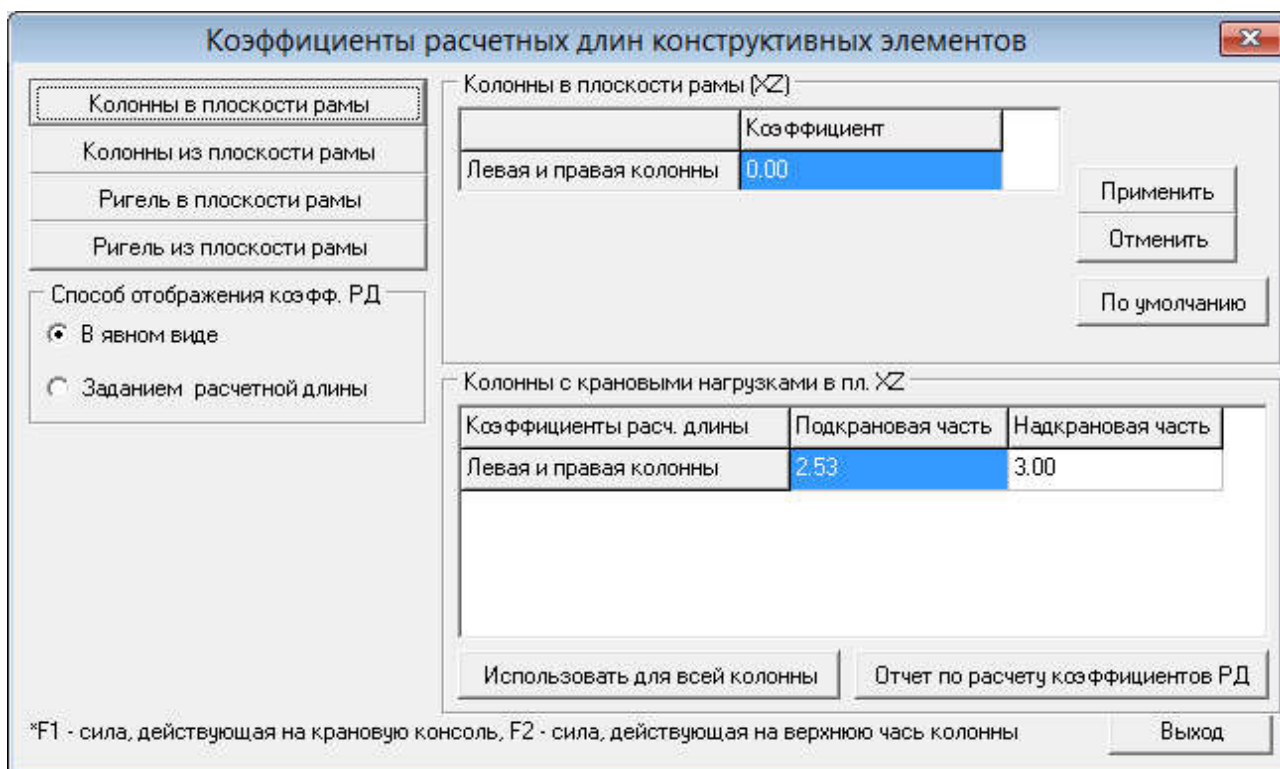


Рис. 5. 4. Задание коэффициентов расчетных длин для симметричной рамы с крановыми консолями

5.1. Статические нагрузки

Статические нагрузки на расчетную модель задаются в терминах геометрической модели и могут включать в себя нагрузки следующих видов:

- типовые загрузки;
- крановые загрузки;
- произвольные загрузки.

Положительные направления нагрузок:

- вдоль оси X - совпадает с положительным направлением оси X ;
- вдоль оси Z - совпадает с отрицательным направлением оси Z .

5.1.1. Типовые загрузки

Типовые нагрузки должны присутствовать в расчетной модели. Они могут включать в себя следующие типовые загрузки:

- загрузка 1 – собственный вес рамы.
- загрузка 2 – постоянные вертикальные нагрузки на ригели и колонны от веса кровли и стеновых панелей;
- загрузка 3 – снеговая нагрузка слева;
- загрузка 4 – снеговая нагрузка справа;
- загрузка 5 – ветровая нагрузка слева;
- загрузка 6 – ветровая нагрузка справа;
- загрузка 7 и 8 – ветровая нагрузка в торец.

В модели, как минимум, должно быть задано одно типовое загрузка – собственный вес рамы.

Каждое загрузка определяется своим набором параметров, свойственных типу приложенной нагрузки. Кроме этого, для постоянных нагрузок на ригели и колонны и снеговых нагрузок предусмотрена возможность задания дополнительных нагрузок. В случае постоянных нагрузок это могут быть, например, локальные нагрузки от веса оборудования. В случае снеговых нагрузок дополнительные нагрузки могут моделировать вес снеговых мешков.

При задании ветровых нагрузок может быть задан параметр **Delta_h**, увеличивающий расчетную высоту здания **h** (см [6] 11.1.4).

Задание типовых нагрузок выполняется командой **Модель ⇒ Типовые нагрузки**. При выполнении команды появляется диалоговое окно, в котором производится задание нагрузок за пять шагов:

1. Задание нагрузок от собственного веса, рис. 5.5;
2. Задание характерных размеров рамы, а также карнизного свеса и парапета, рис. 5.6;
3. Задание постоянных нагрузок, рис. 5.7;
4. Задание ветровых нагрузок, рис. 5.8;
5. Задание снеговых нагрузок, рис. 5.9;

Нагрузки могут задаваться либо в соответствии со старыми нормами, либо в соответствии с нормами 2011-2016 г.

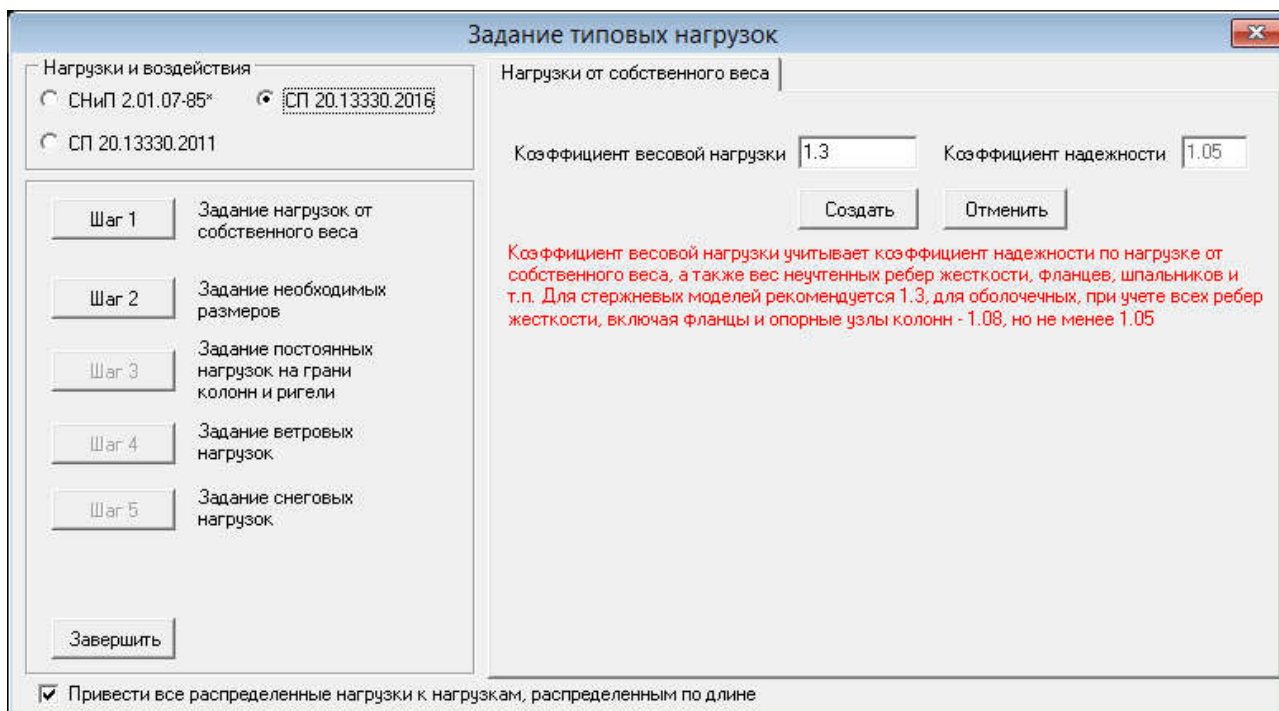


Рис. 5. 5. Диалоговое окно создания типовых нагрузок в конфигурации задания нагрузок от собственного веса

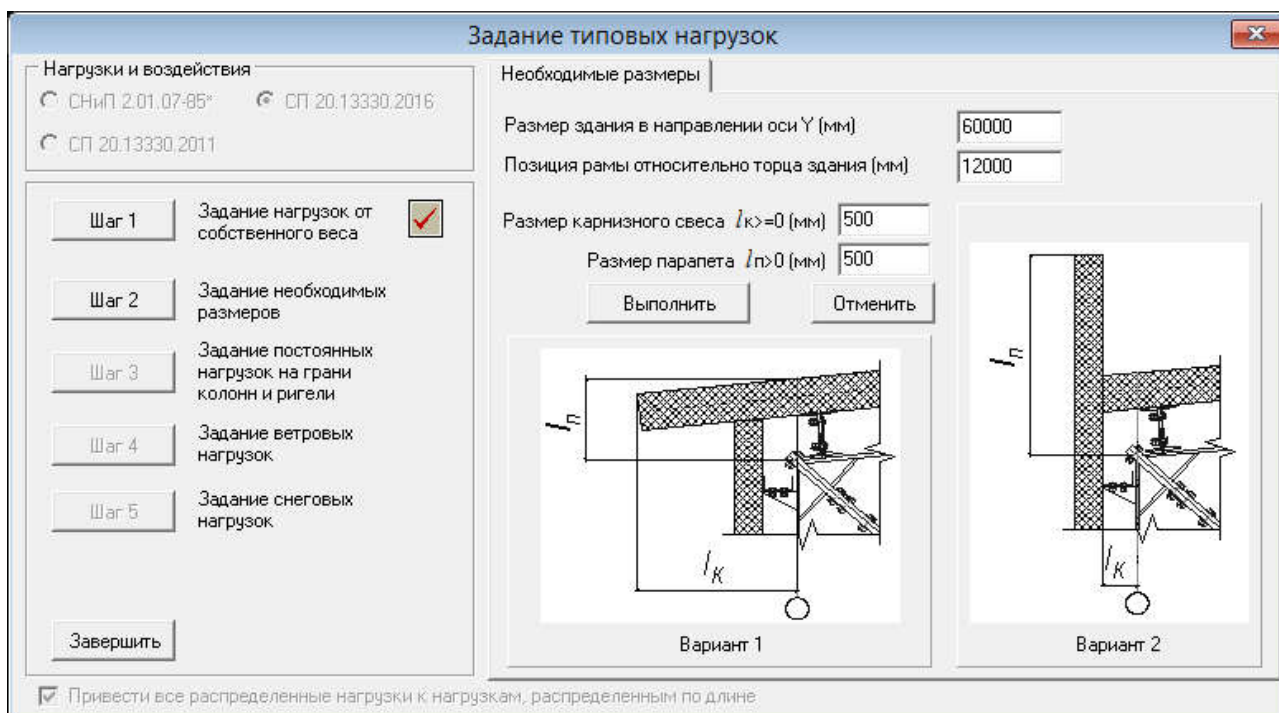


Рис. 5. 6. Диалоговое окно создания типовых нагрузок в конфигурации характерных размеров рамы, карнизного свеса и парапета

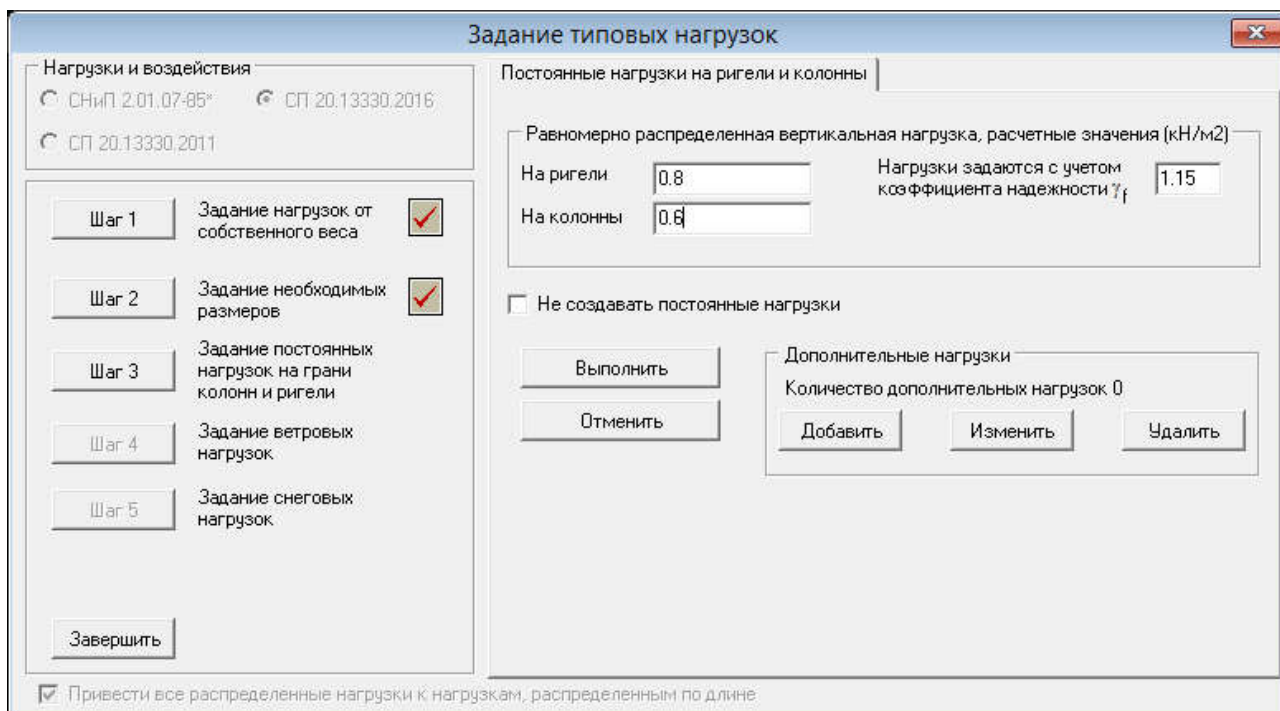


Рис. 5. 7. Диалоговое окно создания типовых нагрузок в конфигурации задания постоянных нагрузок

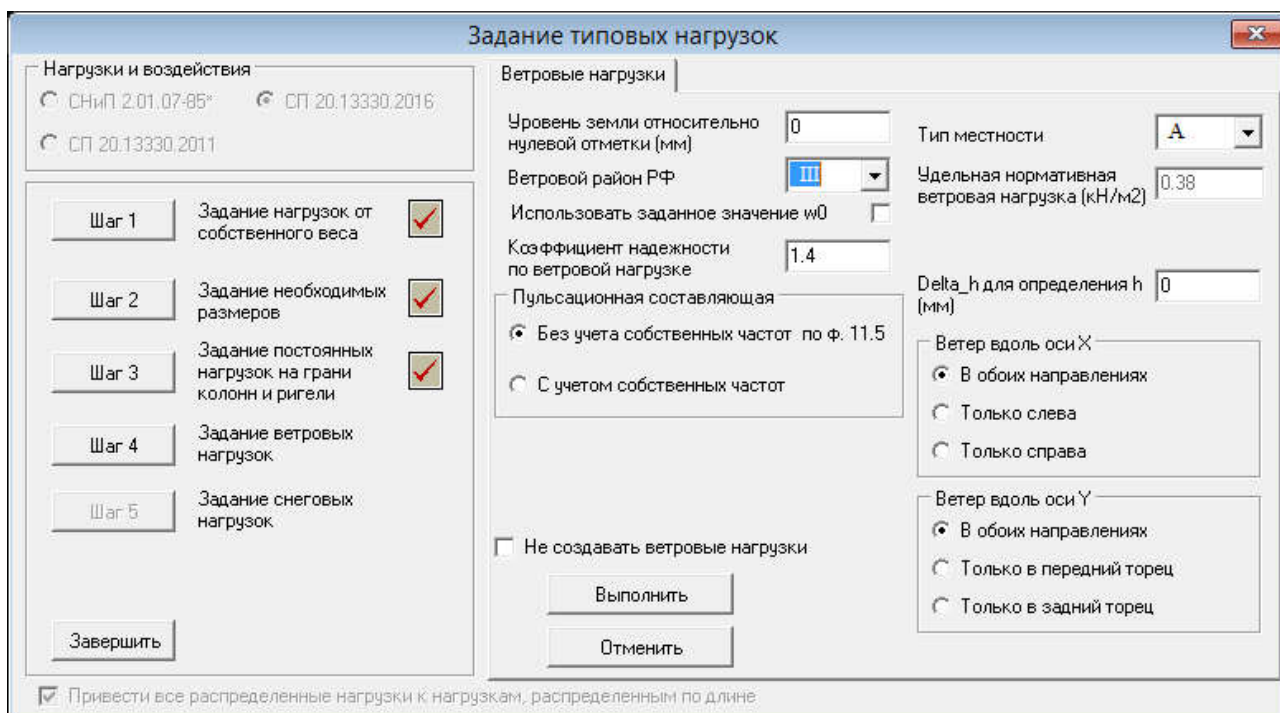


Рис. 5. 8. Диалоговое окно создания типовых нагрузок в конфигурации задания ветровых нагрузок

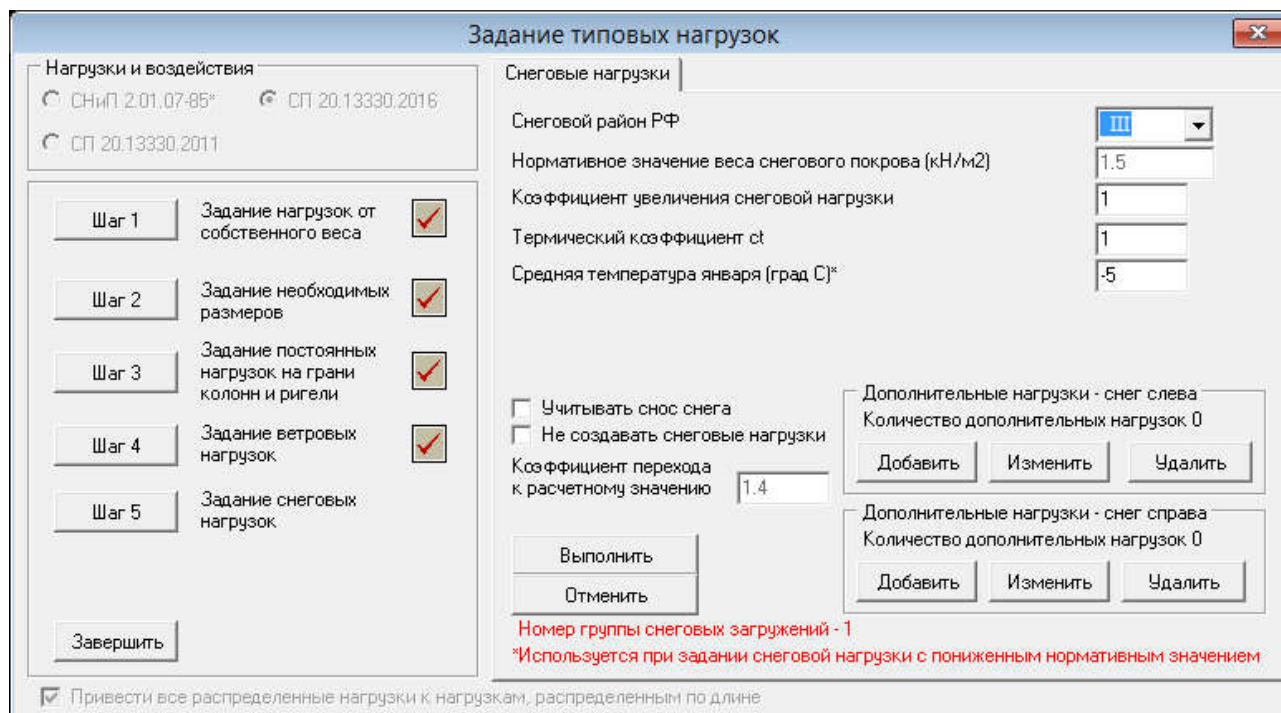


Рис. 5. 9. Диалоговое окно создания типовых нагрузок в конфигурации задания снеговых нагрузок

5.1.2. Задание дополнительных нагрузок

При задании постоянных и снеговых нагрузок существует возможность задания дополнительных нагрузок в общем виде. В случае постоянных нагрузок это могут быть, например, локальные нагрузки от веса оборудования. В случае снеговых нагрузок дополнительные нагрузки могут моделировать вес снеговых мешков.

Операции с дополнительными нагрузками производятся с помощью кнопок <Добавить>, <Изменить>, <Удалить> из диалогового окна **Задание типовых нагрузок**.

Добавление нагрузки

При нажатии на кнопку <Добавить> появляется диалоговое окно создания дополнительных нагрузок в конфигурации, показанной на рис. 5.10. После задания параметров нагрузки и нажатии на кнопку <Добавить> в этом окне, нагрузка будет добавлена к типовым нагрузкам.

При задании сосредоточенной нагрузки точка приложения нагрузки задается привязкой. В этой точке автоматически будет создано сечение разбивки.

Отметим, что нагрузки, приложенные к колоннам, могут иметь эксцентриситет, который отсчитывается от внешней грани колонны. Знак “+” соответствует смещению линии действия нагрузки внутрь рамы.

При задании распределенных нагрузок, рис. 5.11, задаются привязки границ участка действия нагрузки. При этом возможно задание линейно меняющейся нагрузки от сечения *A* к сечению *B*. Нагрузка в сечении *B* будет отличаться от нагрузки в сечении *A* на заданный множитель.

Дополнительные нагрузки не симметризируются, т.е. нагрузки, приложенные к левой колонне или ригелю симметричной рамы, не переносятся на правую колонну или ригель.

После задания всех нагрузок нужно нажать на кнопку <Завершить>, чтобы вернуться в диалоговое окно **Задание типовых нагрузок**.

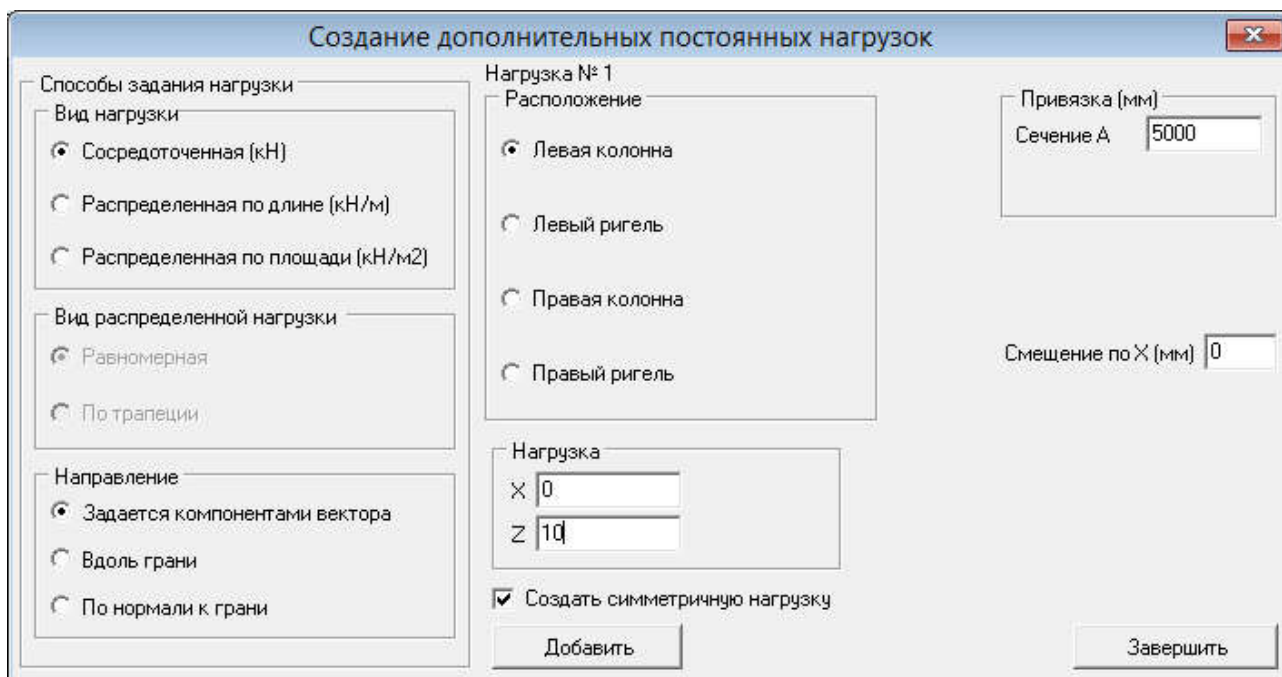


Рис. 5. 10.

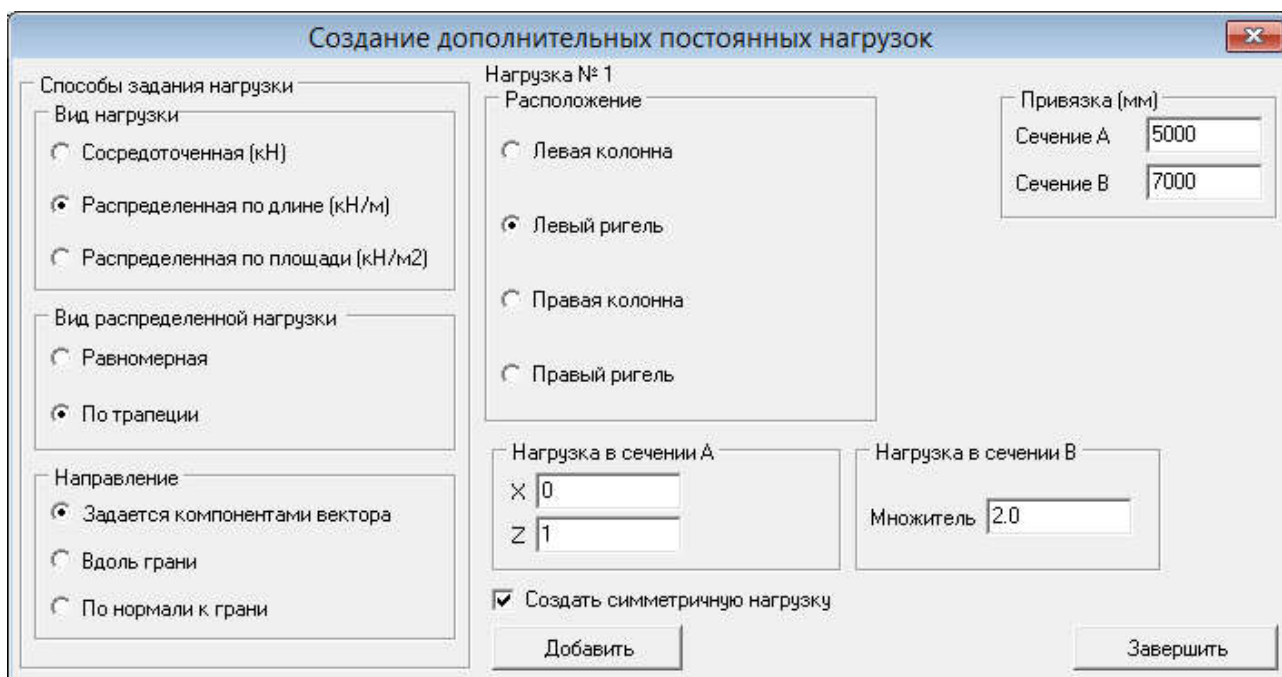


Рис. 5. 11.

Изменение нагрузки

При нажатии на кнопку **<Изменить>** появляется диалоговое окно модификации дополнительных нагрузок в конфигурации, показанной на рис. 5.12. В этой конфигурации кнопки **<Изменить>**, **<Пропустить>** и **<Удалить>** выполнить соответствующее действие с очередной дополнительной нагрузкой.

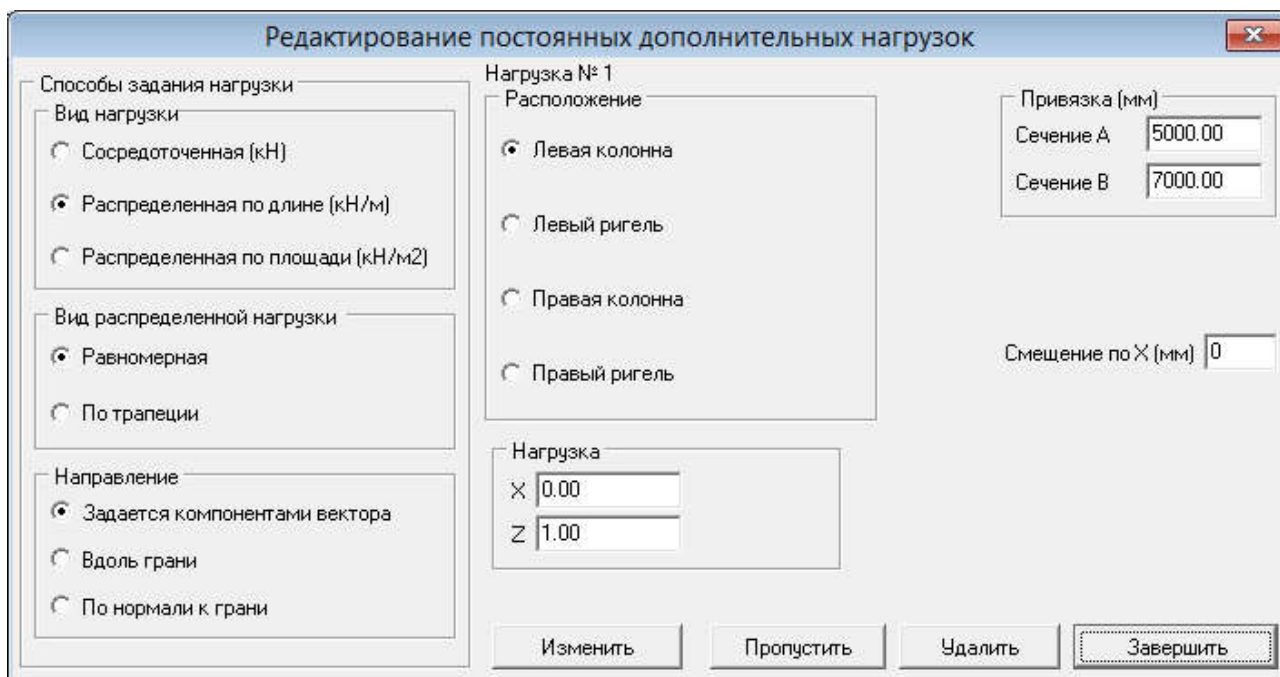


Рис. 5. 12.

Удаление всех дополнительных нагрузок

Нажатие на кнопку <Удалить> в диалоговом окне **Задание типовых нагрузок** приводит к удалению всех дополнительных нагрузок данного варианта загрузки.

5.1.3. Крановые загрузки

Крановые нагрузки могут быть заданы для всех типов рам, кроме сегментных и произвольных рам.

Задание крановых нагрузок выполняется в два этапа, рис. 5.13. Вначале в диалоговом окне, рис. 5.14, должны быть заданы параметры хотя бы одного крана.

Это может быть либо подвесной, либо мостовой кран с числом колес в тележке либо 2, либо 4.

Затем в диалоговом окне, рис. 5.15, задается необходимая комбинация из одного или двух кранов. При этом автоматически может быть создан отчет в формате Word по определению нагрузок от заданной комбинации.

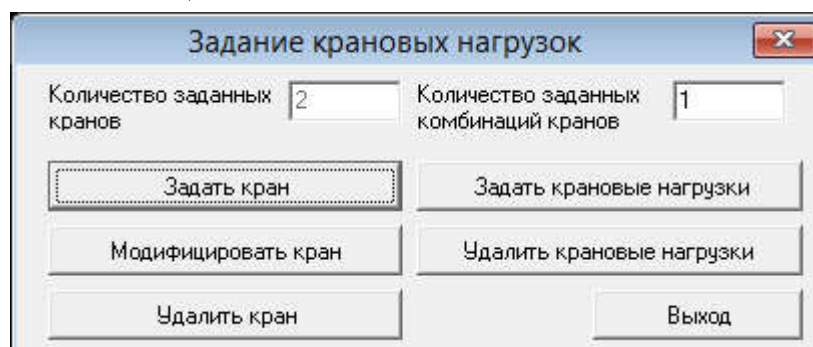


Рис. 5. 13.

Рис. 5. 14.

Рис. 5. 15.

5.1.4. Пример отчета по заданию крановых нагрузок от опорных кранов

Паспортные данные кранов, входящих в сочетание

Кран №1

- Грузоподъемность Q 5 т
- Пролет крана L 16500 мм
- База крана B 4000 мм
- Расстояние между крайними точками буферов D 4800 мм
- Нормативная максимальная нагрузка на колесо $F_{k \max}$ 57.00 кН
- Масса тележки Q_t 2.4 т
- Масса крана (с учетом массы тележки) Q_k 10.8 т
- Подвес груза жесткий
- Число колес крана с одной стороны 2

- Группа режима работы
Нормативная минимальная нагрузка на колесо

$$F'_k = \frac{(Q + Q_k)}{n_0} g - F_{k \max} = (5 + 10.8) \cdot 9.81/2 - 57.00 = 20.50 \text{ кН}$$

Тормозная нормативная нагрузка на одно колесо в плоскости поперечной рамы

$$T_k^H = \frac{k_t(Q + Q_t)}{n_0} g = 0.10 \cdot (5 + 2.4) \cdot 9.81/2 = 3.63 \text{ кН}$$

Тормозная нормативная нагрузка на одно колесо из плоскости поперечной рамы

$$T_k^{bn} = 0.1 F_{k \max} = 0.1 \cdot 57.00 = 5.70 \text{ кН}$$

Здесь $k_t = 0.10$ в соответствии с п. 4.4 [2] для жесткого подвеса груза.

Крановые нагрузки для расчета прочности и устойчивости поперечной рамы

В соответствии с п. 4.11 и 4.13 [2] вертикальная и горизонтальная нагрузка принимается не более чем от двух наиболее неблагоприятных по воздействию кранов.

Схема к вычислению коэффициентов y_i , при определении крановых нагрузок на рядовые колонны, показана на рис. 1.

$$y_1 = 1 - \frac{B_1}{S} = 1 - 4000/6000 = 0.333, \quad y_2 = 1.0;$$

$$y_3 = 1 - \frac{(D_1 - B_1 + D_2 - B_2)}{2S} = 1 - (4800 - 4000 + 4800 - 4000)/(2 \cdot 6000) = 0.867$$

$$y_4 = 1 - \frac{(D_1 - B_1 + D_2 + B_2)}{2S} = 1 - (4800 - 4000 + 4800 + 4000)/(2 \cdot 6000) = 0.200$$

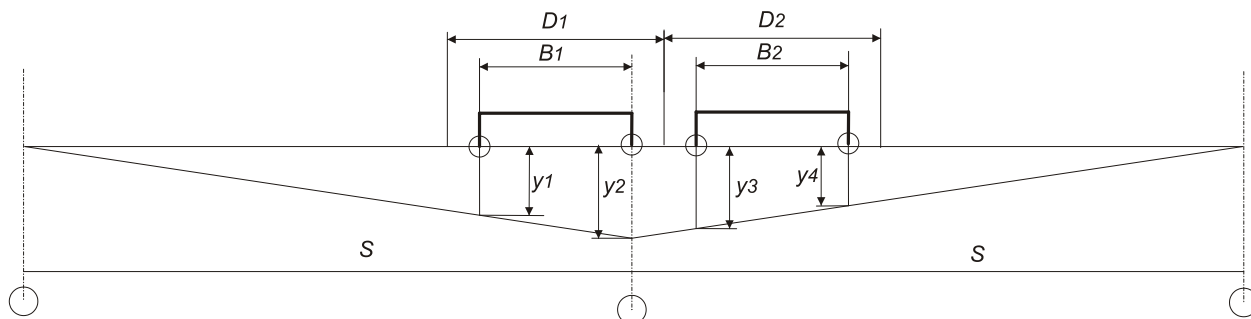


Рис. 1 Схема к определению крановой нагрузки на рядовые колонны

Максимальная расчетная нагрузка на рядовую колонну

$$D_{\max} = \gamma_f [\psi_1 F_{k \max 1} (y_1 + y_2) + \psi_2 F_{k \max 2} (y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 57.00 \cdot (0.333 + 1.000) + 0.85 \cdot 57.00 \cdot (0.867 + 0.200)] = 127.89 \text{ кН}$$

Минимальная расчетная нагрузка на рядовую колонну

$$D_{\min} = \gamma_f [\psi_1 F'_{k1} (y_1 + y_2) + \psi_2 F'_{k2} (y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 20.50 \cdot (0.333 + 1.000) + 0.85 \cdot 20.50 \cdot (0.867 + 0.200)] = 45.99 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка на колонну в плоскости поперечной рамы

$$T = \gamma_f [\psi_1 T_{k1}^i (y_1 + y_2) + \psi_2 T_{k2}^i (y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 3.63 \cdot (0.333 + 1.000) + 0.85 \cdot 3.63 \cdot (0.867 + 0.200)] = 8.14 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка на колонну из плоскости поперечной рамы в точке приложения максимальной нагрузки:

$$T_{b \max} = 0.1D_{\max} = 0.1 \cdot 127.89 = 12.79 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка на колонну из плоскости поперечной рамы в точке приложения минимальной нагрузки:

$$T_{b \min} = 0.1D_{\min} = 0.1 \cdot 45.99 = 4.60 \text{ кН}$$

Тормозная нормативная нагрузка на колонну в плоскости поперечной рамы от одного крана, для расчета по второму предельному состоянию (по деформациям):

$$T_2 = \max(T_{21}, T_{22}) = \max(4.84, 4.84) = 4.84 \text{ кН.}$$

Здесь T_{21} – тормозная нормативная нагрузка от первого крана, T_{22} – тормозная нормативная нагрузка от второго крана:

$$T_{21} = \psi T_{k1}^i \left(2 - \frac{B_1}{S} \right) = 1.0 \cdot 3.63 \cdot (2 - 4000/6000) = 4.84 \text{ кН}$$

$$T_{22} = \psi T_{k2}^i \left(2 - \frac{B_2}{S} \right) = 1.0 \cdot 3.63 \cdot (2 - 4000/6000) = 4.84 \text{ кН}$$

Коэффициент перехода от расчетной тормозной нагрузки T к нормативной тормозной нагрузке T_2 :

$$k_2 = \frac{T_2}{T} = 4.84/8.14 = 0.594.$$

Постоянная нагрузка от веса консоли и рельса (задается расчетчиком):

$$P_k = 1.50 \text{ кН.}$$

5.1.5. Пример отчета по заданию крановых нагрузок от подвесных кранов

Паспортные данные кранов, входящих в сочетание

Кран №1

• Грузоподъемность Q	5 т
• Пролет крана L	16500 мм
• База крана B	4000 мм
• Расстояние между крайними точками буферов D	4800 мм
• Нормативная максимальная нагрузка на колесо $F_{k \max}$	57.00 кН
• Масса тележки Q_t	2.4 т
• Масса крана (с учетом массы тележки) Q_k	10.8 т
• Подвес груза	жесткий
• Число колес крана с одной стороны	2
• Число точек подвеса	3
• Размер консоли l	1000 мм
• Группа режима работы	5К

Нормативная нагрузка на крайний путь:

$$F_{1k} = \frac{Q_k}{4(L+l)} \left(\frac{L}{2} + l \right) g = 10.8 \cdot (16500/2 + 1000) \cdot 9.81/4 \cdot (16500 + 1000) = 14.68 \text{ кН}$$

Нормативная нагрузка на средний путь:

$$F_{2k} = \frac{Q_k}{4(L+l)} Lg = 10.8 \cdot 16500 \cdot 9.81/4 \cdot (16500 + 1000) = 23.62 \text{ кН}$$

Тормозная нормативная нагрузка на одно колесо в плоскости поперечной рамы

$$T_k^n = \frac{k_t(Q + Q_t)}{n_0} g = 0.10 \cdot (5 + 2.4) \cdot 9.81/2 = 3.63 \text{ кН}$$

Тормозная нормативная нагрузка на одно колесо из плоскости поперечной рамы

$$T_k^{bn} = 0.1F_{k\max} = 0.1 \cdot 57.00 = 5.70 \text{ кН}$$

Здесь $k_t = 0.10$ в соответствии с п. 4.4 [2] для жесткого подвеса груза.

Крановые нагрузки

В соответствии с п. 4.11 и 4.13 [2] вертикальная и горизонтальная нагрузка принимается не более чем от двух наиболее неблагоприятных по воздействию кранов.

Коэффициенты y_i для определения нагрузок на опоры крановых путей вычисляются по схеме неразрезной пятипролетной балки, см. рис 1. Из таблицы П5.1 [1] ординат линии влияния следует, что максимальные реакции возникают в том случае, когда кран находится под второй опорой пятипролетной балки. Этому варианту соответствуют ординаты линии влияния для первого и второго пролетов, приведенные в таблице 1.

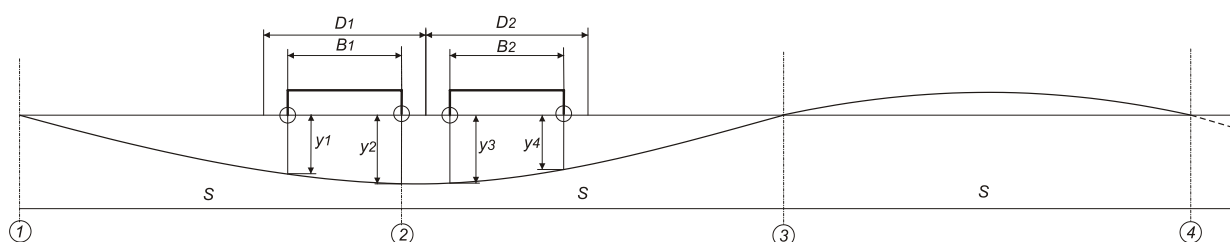


Рис. 1 Схема к определению нагрузок на опоры кранового пути подвесных кранов

Таблица 1. Ординаты линии влияния для 1-3 пролета

x	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
y	0	0.3168	0.6043	0.8335	0.9750	1.0	0.8926	0.6886	0.4390	0.1928	0	-0.1032	-0.1268	-0.1007	-0.0498	0

Максимальная нагрузка соответствует положению кранов, показанному на рис. 1. Коэффициенты $y_1 \div y_4$ определяются линейной интерполяцией по таблице 1 для значений:

$$x_1 = 1 - \frac{B_1}{S} = 1 - 4000/6000 = 0.333;$$

$$x_2 = 1.0;$$

$$x_3 = 1 + \frac{(D_1 - B_1 + D_2 - B_2)}{2S} = 1 + (4800 - 4000 + 4800 - 4000)/(2 \cdot 6000) = 1.133;$$

$$x_4 = 1 + \frac{(D_1 - B_1 + D_2 + B_2)}{2S} = 1 + (4800 - 4000 + 4800 + 4000)/(2 \cdot 6000) = 1.800;$$

$$y_1 = 0.508, y_2 = 1.000;$$

$$y_3 = 0.929, y_4 = 0.193.$$

Максимальная расчетная нагрузка на опору кранового пути:

$$D_{\max} = \gamma_f [\psi_1 F_{k_{\max 1}}(y_1 + y_2) + \psi_2 F_{k_{\max 2}}(y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 57.00 \cdot (0.508 + 1.000) + 0.85 \cdot 57.00 \cdot (0.929 + 0.193)] = 140.13 \text{ кН}$$

Минимальная расчетная нагрузка на опору крайнего пути:

$$F_1 = \gamma_f [\psi_1 F_{1k1}(y_1 + y_2) + \psi_2 F_{1k2}(y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 14.68 \cdot (0.508 + 1.000) + 0.85 \cdot 14.68 \cdot (0.929 + 0.193)] = 36.08 \text{ кН}$$

Минимальная расчетная нагрузка на опору среднего пути

$$F_2 = \gamma_f [\psi_1 F_{1k1}(y_1 + y_2) + \psi_2 F_{1k2}(y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 14.68 \cdot (0.508 + 1.000) + 0.85 \cdot 14.68 \cdot (0.929 + 0.193)] = 58.08 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка в плоскости поперечной рамы:

$$T = \gamma_f [\psi_1 T_{k1}^i(y_1 + y_2) + \psi_2 T_{k2}^i(y_3 + y_4)] = 1.1 \cdot [0.85 \cdot 3.63 \cdot (0.508 + 1.000) + 0.85 \cdot 3.63 \cdot (0.929 + 0.193)] = 8.92 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка на ригель из плоскости поперечной рамы в точке приложения максимальной нагрузки:

$$T_{b_{\max}} = 0.1 D_{\max} = 0.1 \cdot 140.13 = 14.01 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка на ригель из плоскости поперечной рамы в точке приложения минимальной нагрузки на опору крайнего пути:

$$T_{b1} = 0.1 F_1 = 0.1 \cdot 36.08 = 3.61 \text{ кН}$$

Тормозная расчетная нагрузка на ригель из плоскости поперечной рамы в точке приложения минимальной нагрузки на опору среднего пути:

$$T_{b2} = 0.1 F_2 = 0.1 \cdot 58.08 = 5.81 \text{ кН}$$

Тормозная нормативная нагрузка на колонну в плоскости поперечной рамы от одного крана, для расчета по второму предельному состоянию (по деформациям):

$$T_2 = \max(T_{21}, T_{22}) = \max(5.47, 5.47) = 5.47 \text{ кН.}$$

Здесь T_{21} – тормозная нормативная нагрузка от первого крана, T_{22} – тормозная нормативная нагрузка от второго крана:

$$T_{21} = \psi T_{k1}^i(y_1 + y_2) = 1.0 \cdot 3.63 \cdot (0.508 + 1.000) = 5.47 \text{ кН}$$

$$T_{22} = \psi T_{k2}^i(y_{12} + y_{22}) = 1.0 \cdot 3.63 \cdot (0.508 + 1.0) = 5.47 \text{ кН,}$$

где коэффициенты $y_{12} \div y_{22}$ определяются линейной интерполяцией по таблице 1 для значений:

$$x_{12} = 1 - \frac{B_2}{S} = 1 - 4000/6000 = 0.333;$$

$$x_{22} = 1.0.$$

Коэффициент перехода от расчетной тормозной нагрузки T к нормативной тормозной нагрузке T_2 :

$$k_2 = \frac{T_2}{T} = 5.47/8.92 = 0.613.$$

Постоянная нагрузка от веса консоли и рельса (задается расчетчиком):

$$P_k = 1.50 \text{ кН.}$$

5.1.5. Произвольные загрузки

Произвольное нагружение может содержать несколько сосредоточенных и/или распределенных нагрузок. Диалоговые окна задания этих нагрузок показаны на рис. 5.16, 5.17.* При создании загрузки нужно выбрать вид нагрузки и номера групп взаимоисключающих и/или сопутствующих нагружений. Эти данные используются при формировании РСУ.



Рис. 5. 16.

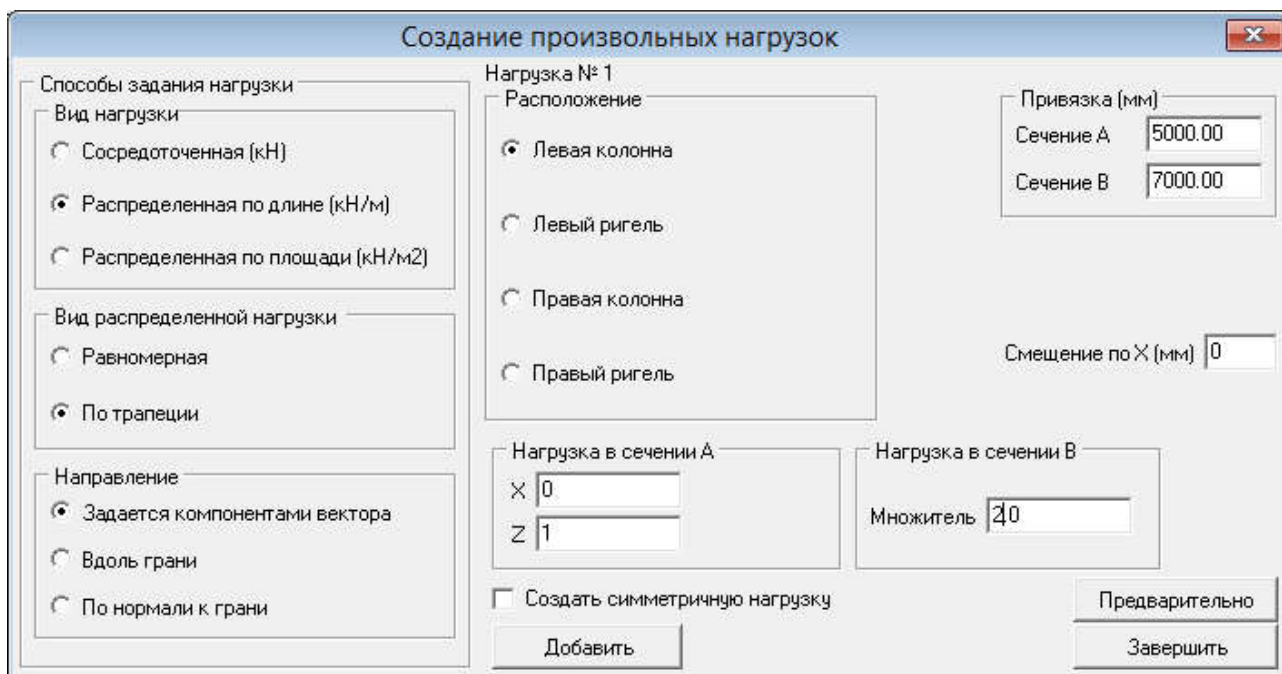


Рис. 5. 17.

* Для многоколонковой рамы рекомендуется указывать позицию нагрузок на ригелях не меньше чем половина на высоту профиля колонны

Отображение нагрузок. Нагрузки могут быть отображены либо на геометрической модели, либо на конечно-элементной модели.

На геометрической модели нагрузки отображаются в тех размерностях, в которых они заданы. Но если в диалоговом окне задания типовых нагрузок, см. рис. 5.1, включить опцию **Унифицировать распределенные нагрузки**, распределенные по площади нагрузки будут приведены к нагрузкам, распределенным по длине с использованием текущего значения шага рам.


Кроме того, распределенные по площади нагрузки, действующие на карнизные свесы и парапеты, отображаются на геометрической модели в виде сосредоточенных нагрузок.

Нагрузки от собственного веса не отображаются на расчетной модели.

Для стержневой конечно-элементной модели распределенные нагрузки приводятся к распределенным по длине силам на элементах, и сосредоточенным силам и моментам в узлах, которые учитывают несовпадение сетки элементов с внешними гранями рамы.

Для оболочечной конечно-элементной модели распределенные нагрузки приводятся к сосредоточенным силам в узлах.

На рисунке модели рамы отображается установленное (текущее) загрузке. Изменение установленного загрузке выполняется с помощью команды **Модель ⇒ Установить активное загрузке** путем выбора соответствующего загрузке, рис. 5.18, или с помощью

кнопок  на панели команд.

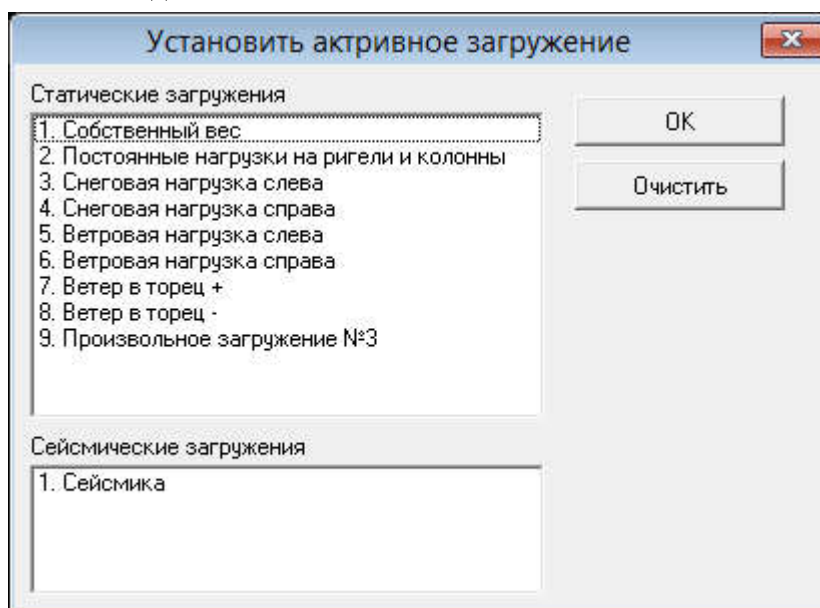


Рис. 5. 18. Диалоговое окно установки варианта загрузке

5.2. Сосредоточенные массы

Сосредоточенные массы используются для добавления неконструктивно обусловленных масс в расчетную модель. Заданные массы используются при формировании нагрузок от собственного веса и при анализе собственных колебаний конструкции. Диалоговое окно задания масс для типовой рамы показано на рис. 5.19.

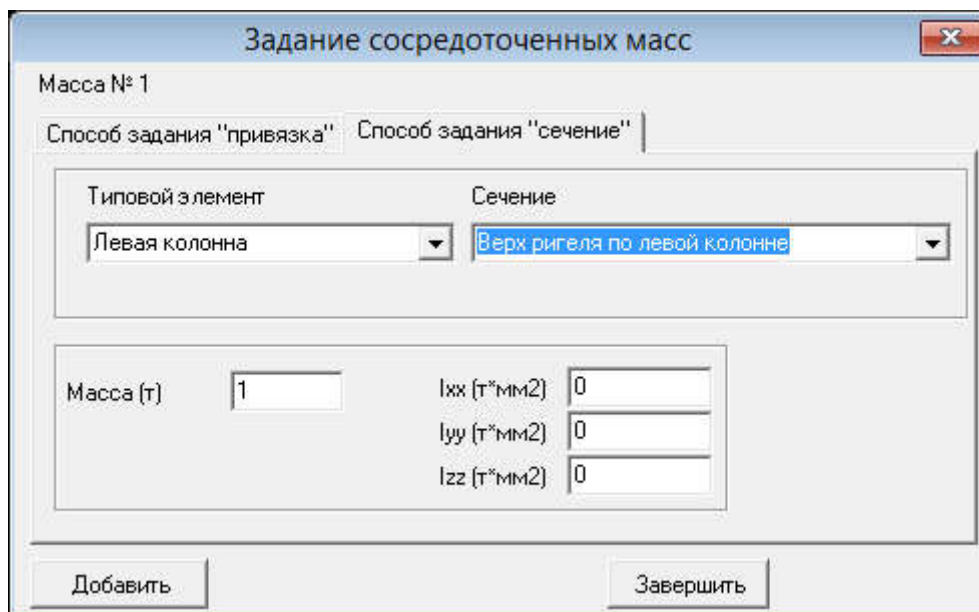


Рис. 5. 19. Диалоговое окно задания сосредоточенных масс

5.3. Закрепления

Закрепления задаются в терминах конструктивных элементов и имеют смысл при создании моделей как типовых, так и произвольных рам.

В том случае, если на панели задания геометрии типовой рамы, см. рис. 4.1, включена опция **Автоматически назначить крепления**, крепления назначаются автоматически в зависимости от типа рамы. Если крепления задаются пользователем, то при включенной опции приоритет имеют автоматически назначаемые крепления. Диалоговое окно задания креплений показано на рис. 5.20.

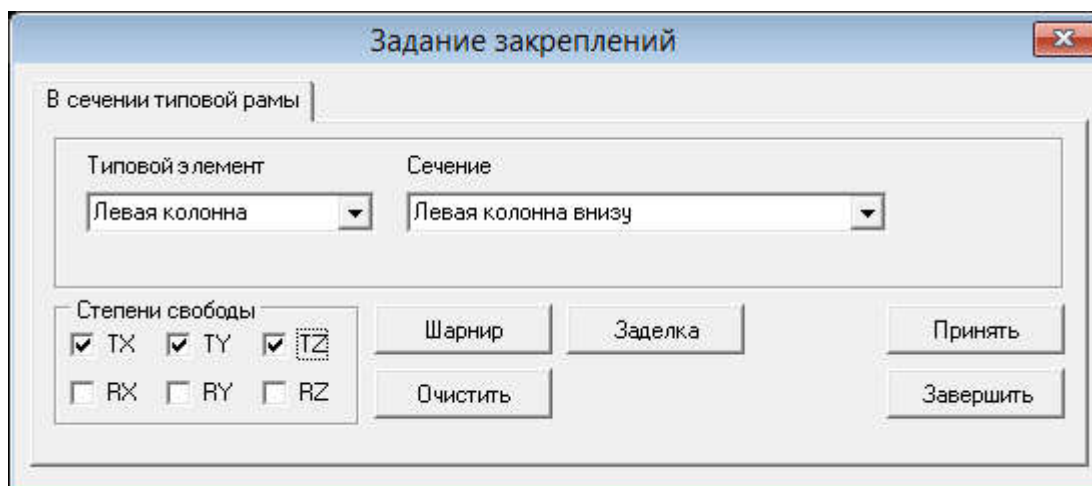


Рис. 5. 20.

5.4. Шарниры

Под шарнирами понимается произвольное освобождение одной или всех из шести связей в сечении конструктивного элемента или в узле сопряжения. Шарниры задаются в терминах конструктивных элементов и имеют смысл моделей как типовых, так и произвольных рам.

В том случае, если на панели задания геометрии типовой рамы, см. рис. 4.1, включена опция **Автоматически расставить шарниры**, шарниры расставляются автоматически в зависимости от типа рамы. Если шарниры задаются пользователем, то при включенной опции приоритет имеют автоматически назначенные шарниры. Диалоговое окно задания шарниров показано на рис. 5.21.

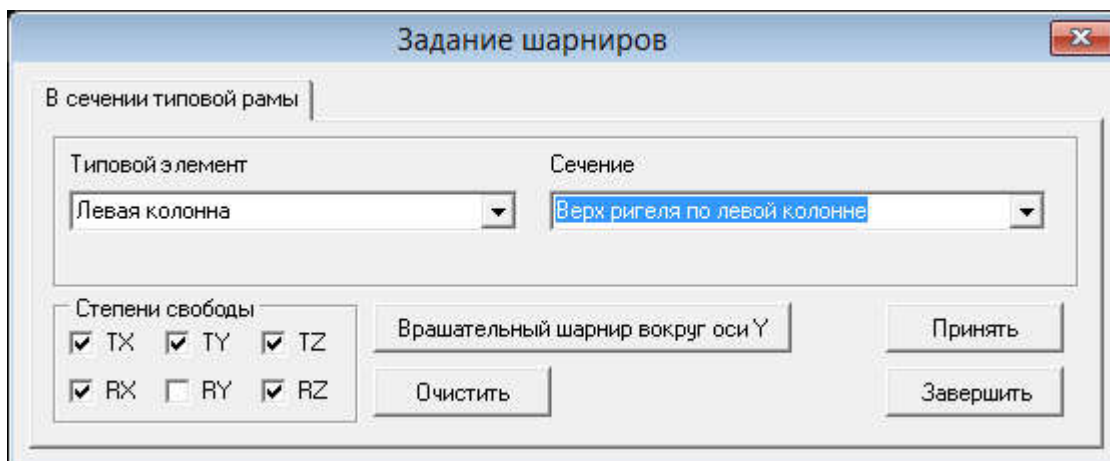


Рис. 5. 21.

5.5. Функции

Команда **Расчетная модель** \Rightarrow **Функция** позволяет создавать объекты, которые являются таблицами зависимости параметра Y от параметра X . Эти таблицы называются функциями или функциональными зависимостями. Функции используются при описании спектров сейсмических воздействий задаваемых пользователем.

При обращении к команде появляется диалоговое окно **Задание функции** (рис. 5.22).

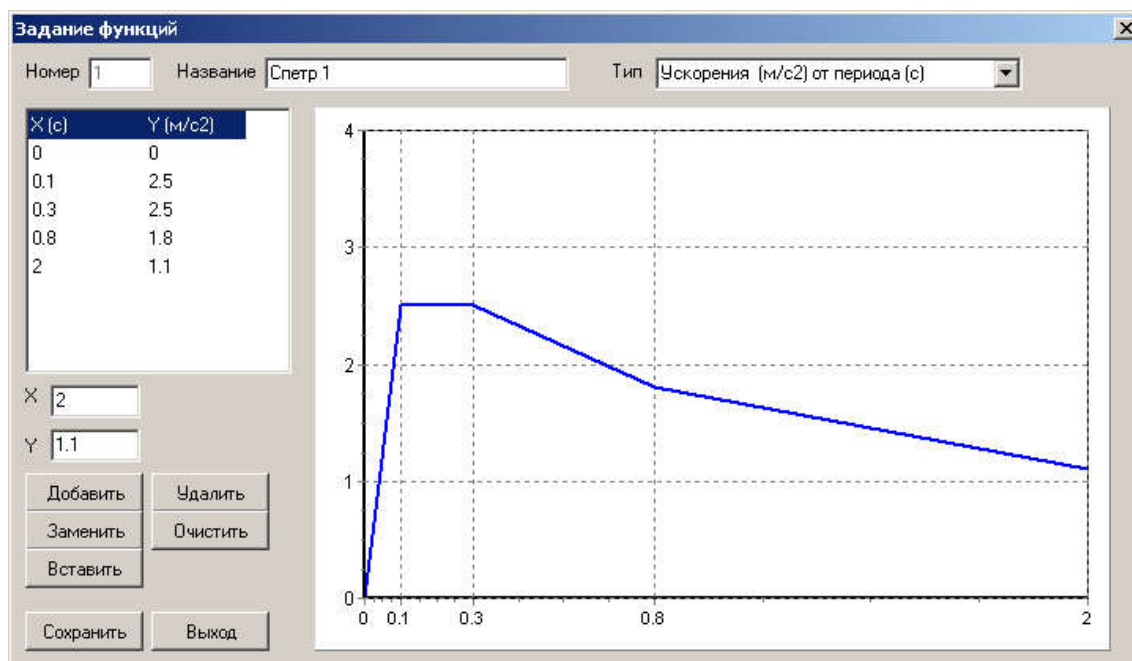


Рис. 5. 22. Диалоговое окно задания функции

Функция $Y(X)$ может иметь различный физический смысл, который определяется как типом величины Y , так и типом аргумента X . выпадающий список **Тип** позволяет выбрать нужный тип. Ниже приведены доступные типы зависимостей:

- Ускорения (м/с²) от частоты (Гц);
- Коэффициент динамичности от периода (с);

Строки в таблице всегда отображаются и используются в порядке возрастания значений аргумента.

Кнопки **Добавить**, **Удалить**, **Очистить**, **Заменить**, **Вставить** служат для управления списком строк табличной функции.

При нажатии кнопки **Сохранить** формирование данной табличной функции заканчивается, предлагается начать формирование следующей функции.

При нажатии кнопки **Выход** выполнение команды прекращается.

5.6. Сейсмические нагрузки

Сейсмические нагрузки задаются с помощью команды **Расчетная модель** \Rightarrow **Сейсмические нагрузки**, которая позволяет задать параметры нескольких сейсмических нагружений, рис. 5.23.

По умолчанию расчет проводится для двух направлений воздействия в плоскости рамы: по горизонтали (ТХ) и по вертикали (ТЗ). Поскольку нагрузки, соответствующие сейсмическому воздействию, рассматриваются как знакопеременные, каждому заданному направлению соответствует пара откликов системы.

Параметры сейсмического нагружения и расчет реакции системы на сейсмические нагрузки могут определяться в соответствии с одними из действующих норм “Строительство в сейсмических районах”:

- СП 14.13330.2104;
- СНиП II-7-81* 2000;
- СНиП РК 2.03-30-2006;

Заданные спектры по умолчанию принимаются стандартными, но пользователь имеет возможность выбрать собственные спектры, которые предварительно должны быть заданы в виде функций соответствующей размерности.

5.5.1. Методика расчета на сейсмические нагрузки

После создания нагружения, нажатием кнопки **Выполнить анализ нагружения** может быть выполнен расчет на сейсмические воздействия, после чего можно посмотреть частоты и формы колебаний, а также реакцию системы по каждой форме колебаний. Этот расчет является предварительным, РСУ при этом расчете не определяются.

При автоматическом определении количества необходимых форм в разложении, критерием являются величины эффективных модальных масс для заданного направления воздействия.

Минимальное число форм собственных колебаний, учитываемых в расчете, выбирается так, чтобы сумма эффективных модальных масс, учтенных в расчете, составляла не менее 90% общей массы системы, возбуждаемой по направлению действия сейсмического воздействия для горизонтальных воздействий и не менее 75 % — для вертикального воздействия. Учитываются все формы собственных колебаний, эффективная модальная масса которых превышает 5 %.

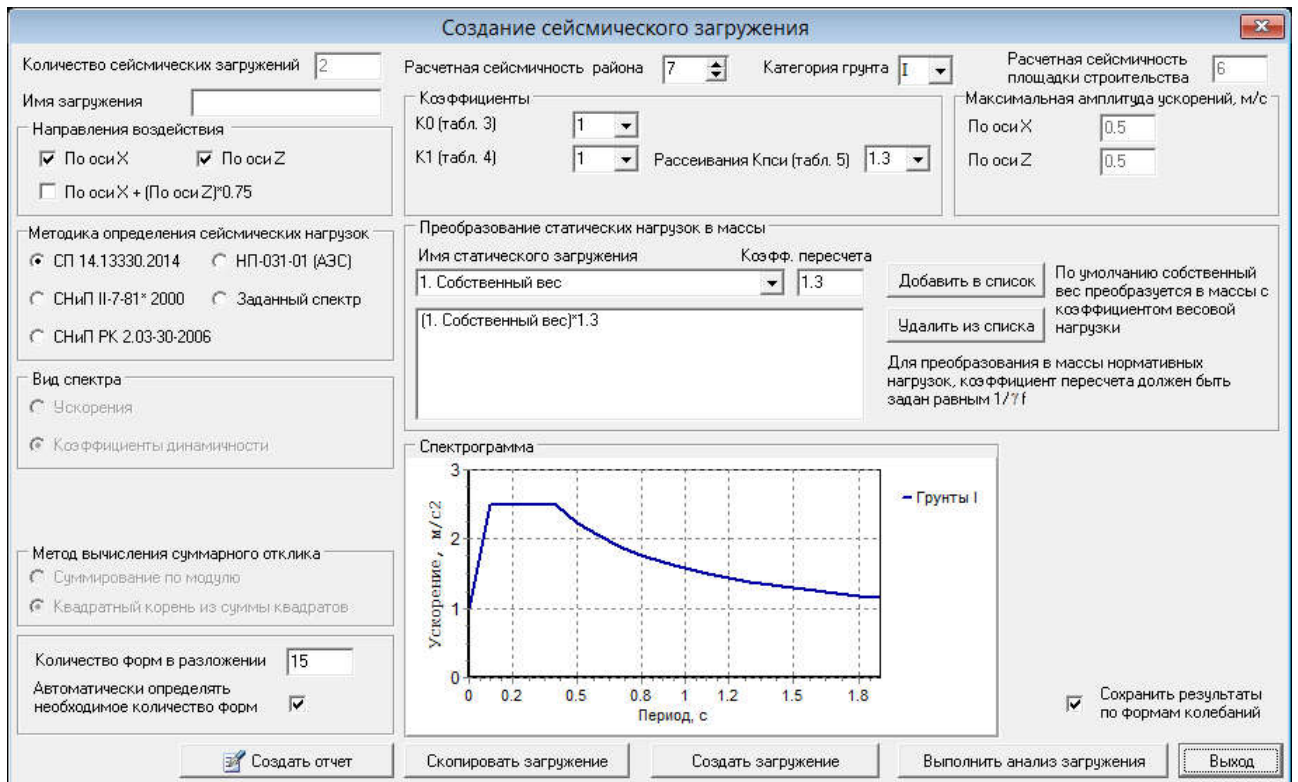


Рис. 5. 23. Диалоговое окно задания параметров сейсмического нагружения

5.5.2. Пример выполнения расчета на сейсмические нагрузки

Шаг 1 Создается модель рамы, рис. 5.24

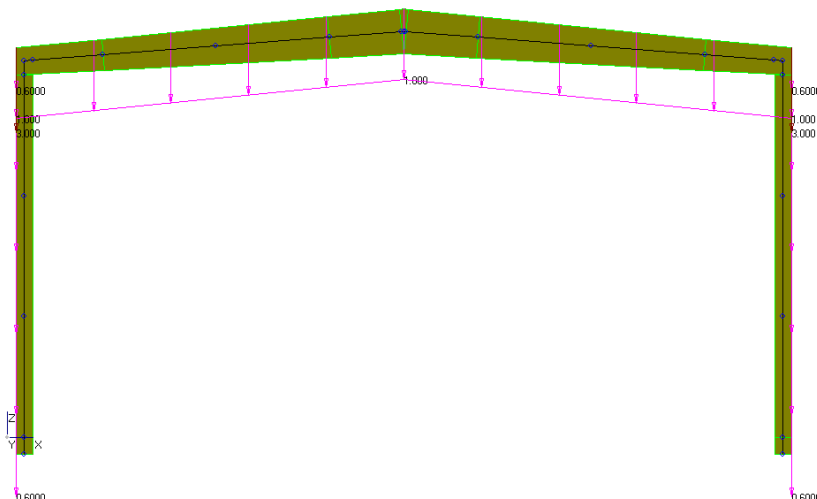


Рис. 5. 24. Модель рамы для анализа сейсмических нагрузок

Шаг 2. Создаются Типовые нагружения

Шаг 3. Создается конечно-элементная модель

Шаг 4. Определяются параметры сейсмического нагружения (Команда **Расчетная модель** ⇒ **Сейсмические нагрузки**), расчет по методике СП 14.13330.2014, см. рис. 5.23

Шаг 5. Создается отчет по сейсмическому нагружению (Кнопка **Создать отчет**), см. п.5.5.3.

Шаг 6. Выполняется выбор вида анализа – 3. Анализ статических и сейсмических нагрузений, команда **Анализ** ⇒ **Задать параметры анализа**, рис. 5.25.

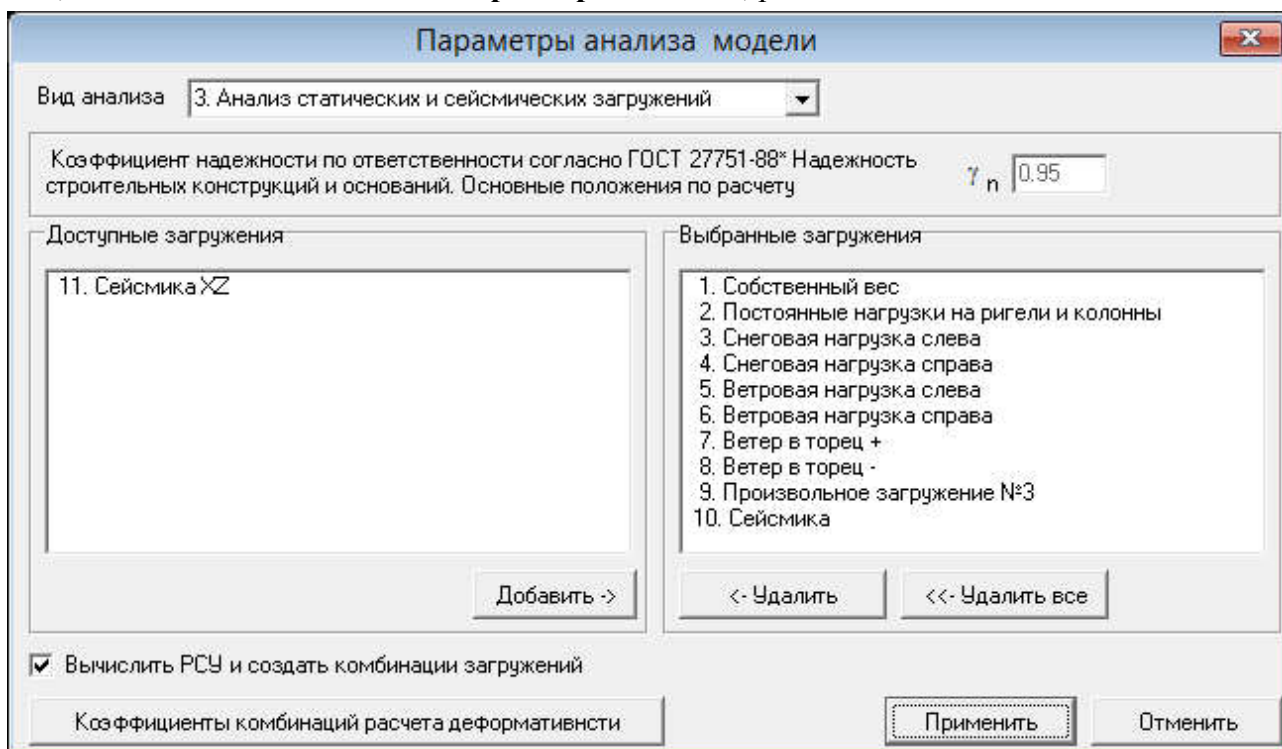


Рис. 5. 25. Панель выбора вида анализа

Шаг 7. Выполняется анализ и определение РСУ для основных сейсмических и особых сочетаний нагрузок, команда **Анализ** ⇒ **Выполнить анализ**.

После выполнения шага 7 данные модели будут содержать результаты четырех групп:

- Статика;
- Сейсмика;
- Статика+сейсмика;
- Собственные формы.

По результатам первых трех групп будут определены РСУ и комбинации нагружений с коэффициентами РСУ, соответствующими выбранной методике расчета сейсмического нагружения, рис. 5.26.

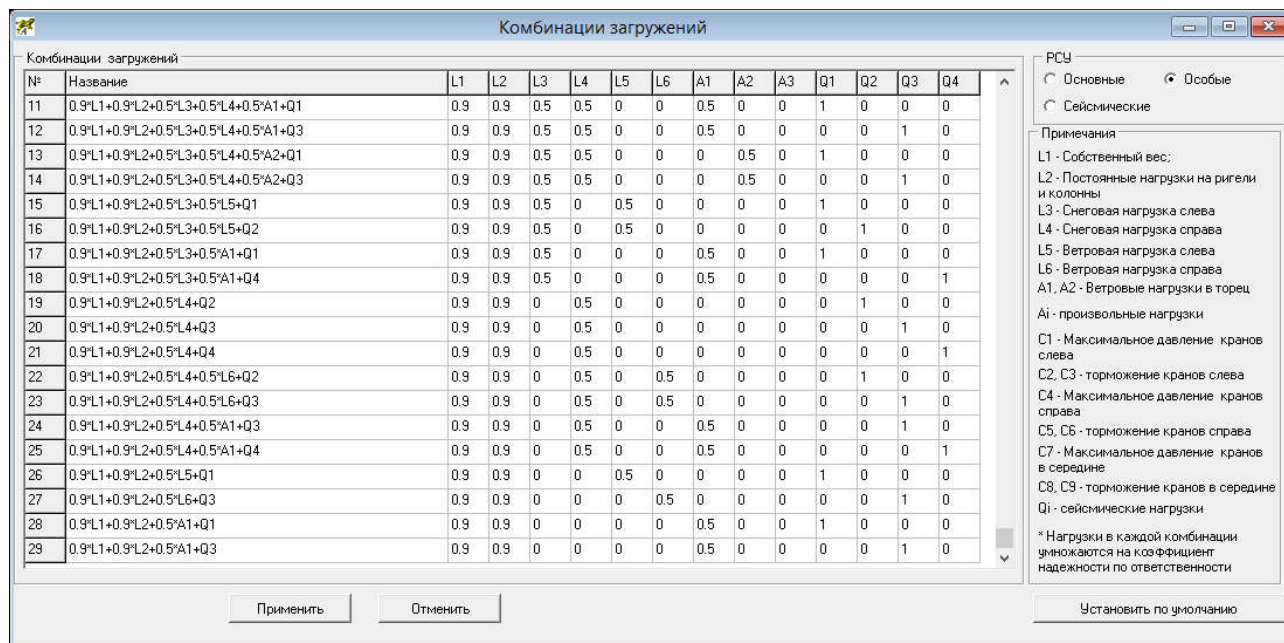


Рис. 5. 26.

5.5.3. Отчет по определению сейсмических нагрузок

Расчёт по СП 14.13330.2014

Таблица 1. Массовая сводка

Наименование массы	Исходная масса, т	Коэффициент пересчета	Масса в расчете, т
Собственная масса рамы	2.59	1.30	3.36
2. Постоянные нагрузки на ригели и колонны	18.19	1.00	18.19
Всего			21.55

Таблица 2. Собственные частоты и модальные массы

Номер формы	Частота, Гц	Эффективная модальная масса по X	Эффективная модальная масса по Z
1	0.71	0.83	0.00
2	3.64	0.00	0.49
3	8.80	0.00	0.00
4	9.03	0.09	0.00
5	13.00	0.00	0.00
6	25.20	0.00	0.15
7	25.94	0.00	0.02
8	26.04	0.02	0.00
9	34.75	0.00	0.00
10	39.56	0.00	0.23
	Сумма	0.94	0.89

Грунт категории 2.

Расчетная сейсмическая нагрузка (силовая или моментная) по направлению обобщенной координаты с номером j , приложенная к узловой точке k РДМ и соответствующая i -й форме собственных колебаний зданий или сооружений, определяется по формуле:

$$S_{ik}^j = K_0 \cdot K_1 \cdot S_{0ik}^j$$

$K_0 = 0.8$ - коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность, принимается по таблице 3;

$K_1 = 0.25$ - коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, принимается по таблице 4;

S_{0ik}^j - значение сейсмической нагрузки для i -й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций по формуле:

$$S_{0ik}^j = m_k^j \cdot A \cdot K_\psi \cdot \beta_i \cdot \eta_{ik}^j.$$

Здесь

m_k^j масса здания или момент инерции соответствующей массы здания, отнесенные к точке k по обобщенной координате j , определяемые с учетом расчетных нагрузок на конструкции согласно 5.1;

$A = 2 \text{ м/с}^2$ значение ускорения в уровне основания для расчетной сейсмичности 8 баллов;

$K_\psi = 1.3$ - коэффициент, учитывающий способность здания к рассеиванию энергии колебаний при горизонтальном воздействии, принимаемый по таблице 5.

Вертикальная сейсмическая нагрузка определяется с коэффициентом $K_\psi = 1.0$, а значение вертикальной сейсмической нагрузки умножается на 0.75, п. 5.12.

η_{ik}^j - коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его собственных колебаниях по i -й форме, от узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия, определяемый по 5.7, 5.8.

β_i - коэффициент динамичности, соответствующий периоду колебаний по i -й собственной форме, принимаемый в соответствии с 5.6, рис. 1, для грунта категории 2

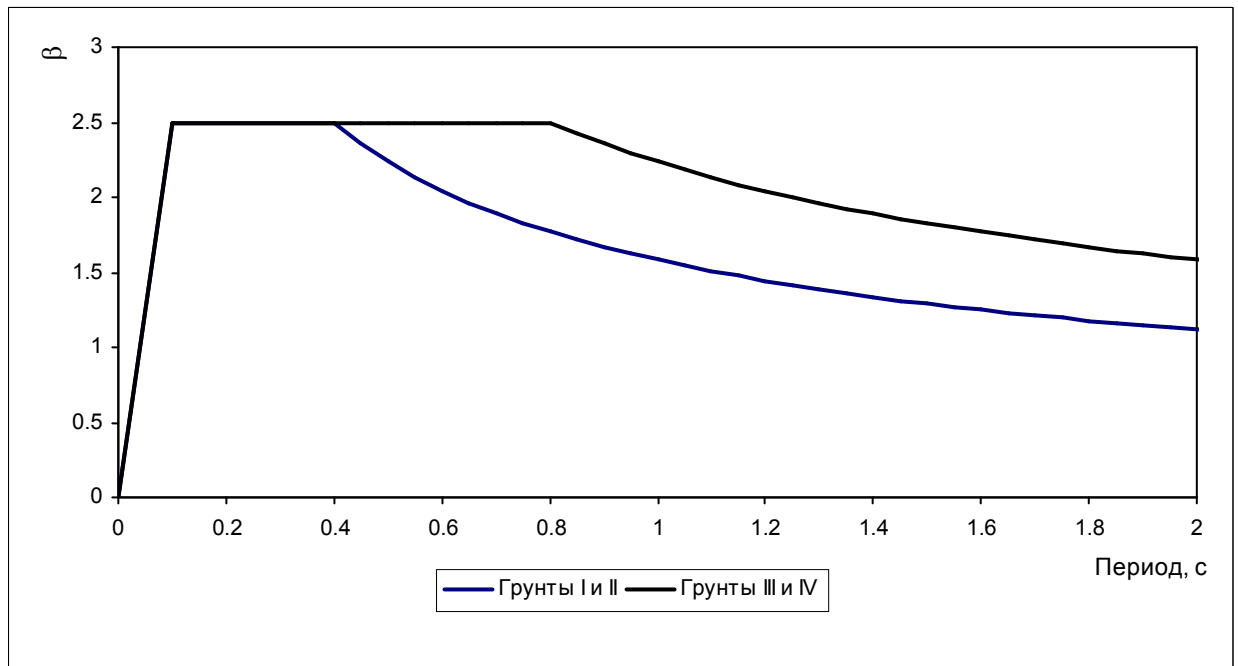
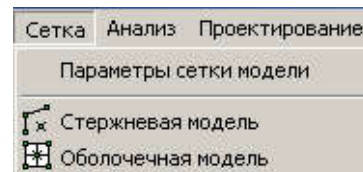


Рис. 1 Спектрограмма коэффициентов динамичности

6. Создание сетки конечных элементов и выполнение анализа

Команды меню **Сетка**, показанные на рисунке, позволяют автоматически создать сетку конечных элементов в одном из двух вариантов – стержневой или оболочечной модели.



Установка текущих параметров разбиения. Текущие параметры разбиения устанавливаются с помощью команды **Сетка** ⇒ **Установить размер элемента**, диалоговое окно которой показано на рис. 6.1.

В этом окне устанавливаются параметры разбиения, действующие для данной модели.

Стержневая конечно-элементная модель отображается в виде линии, проходящей через центры тяжести сечений. На этой линии могут быть "ступеньки" - это конечные элементы жесткой вставки (но не бесконечной жесткости). Они появляются в местах скачка в центрах тяжести соседних сечений. Узлы конечных элементов отображаются в форме кружков.

На рис. 6.2 и 6.3 показаны фрагменты геометрической модели и соответствующей ей конечноэлементной сетки оболочечной модели.

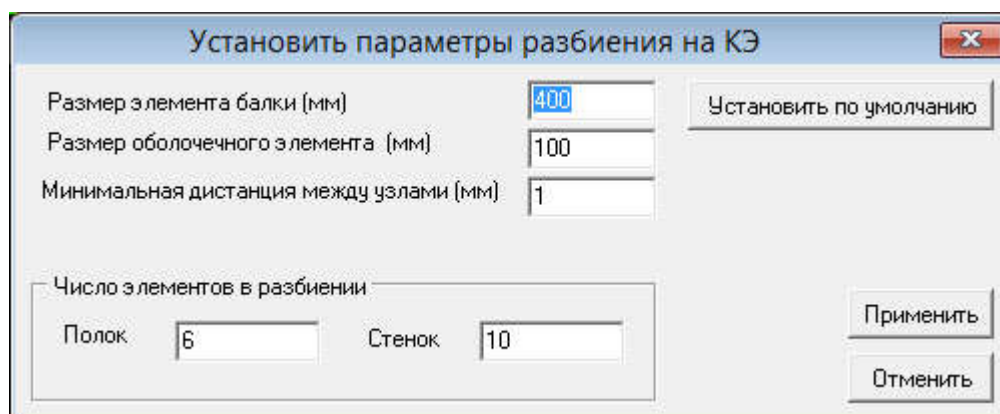


Рис. 6. 1

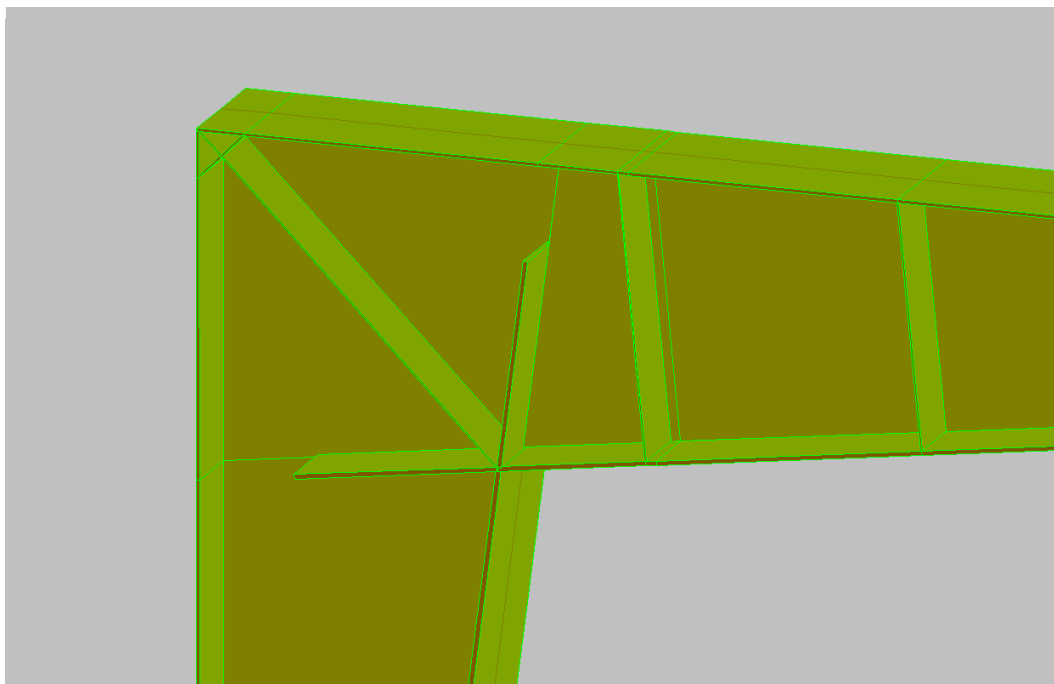


Рис. 6. 2 Фрагмент геометрической модели

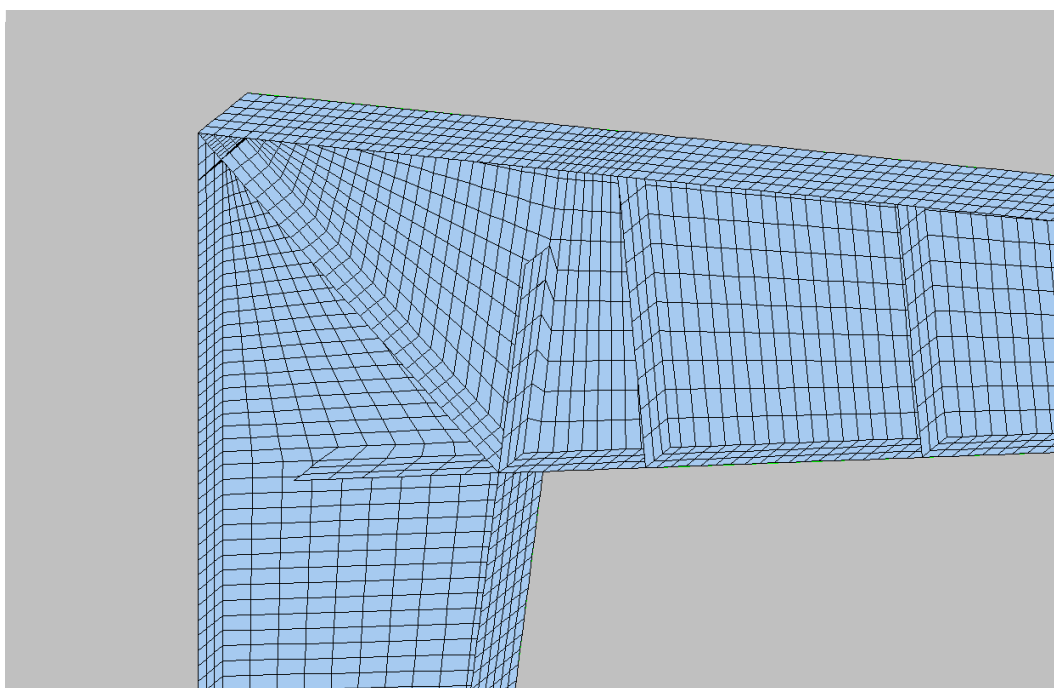
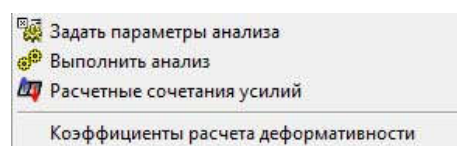


Рис. 6. 3 Фрагмент оболочечной конечно-элементной модели

6.1 Анализ модели

Команды анализа расчетной модели группируются в меню **Анализ**, показанном на рисунке, и позволяют выбрать вид анализа, выполнить анализ и вычислить расчетные сочетания усилий (PCY). По умолчанию программа Гепард-А выполняет команду вычисления PCY автоматически после каждого выполнения команды статического анализа.



Команда выполнения анализа не имеет диалогового окна. В данной версии программы доступно выполнение пяти видов анализа для стержневой (балочной) модели:

- линейный анализ статических нагрузжений;
- анализ сейсмических нагрузжений;
- анализ статических и сейсмических нагрузжений;
- анализ устойчивости по Эйлеру;
- анализ собственных колебаний;
- нелинейный анализ.

6.1.1 Статический анализ

Статический расчет выполняется для выбранных статических нагрузжений, для которых автоматически формируются результаты для полученных комбинаций нагрузжений. Результаты, которыми являются перемещения узлов конечно-элементной модели, силовые факторы (M , N , Q) на элементах и напряжения в характерных точках сечений, используются при проверках критериев прочности и устойчивости, а также при автоматизированном подборе сечений рам.

Задание параметров анализа и выполнение анализа. Диалоговое окно задание параметров статического анализа показано на рис. 6.4. Как правило от пользователя требуется только выбрать вид анализа и нажать кнопку <Применить>. Флаг **Вычислить РСУ и создать комбинации нагрузжений** управляет вызовом команды **Вычислить РСУ** после выполнения анализа.

При нажатии кнопки <Коэффициенты комбинаций расчета деформативности> в диалоговом окне, рис. 6.5, можно отредактировать принятые по умолчанию коэффициенты РСУ для анализа конструкции по второму предельному состоянию.

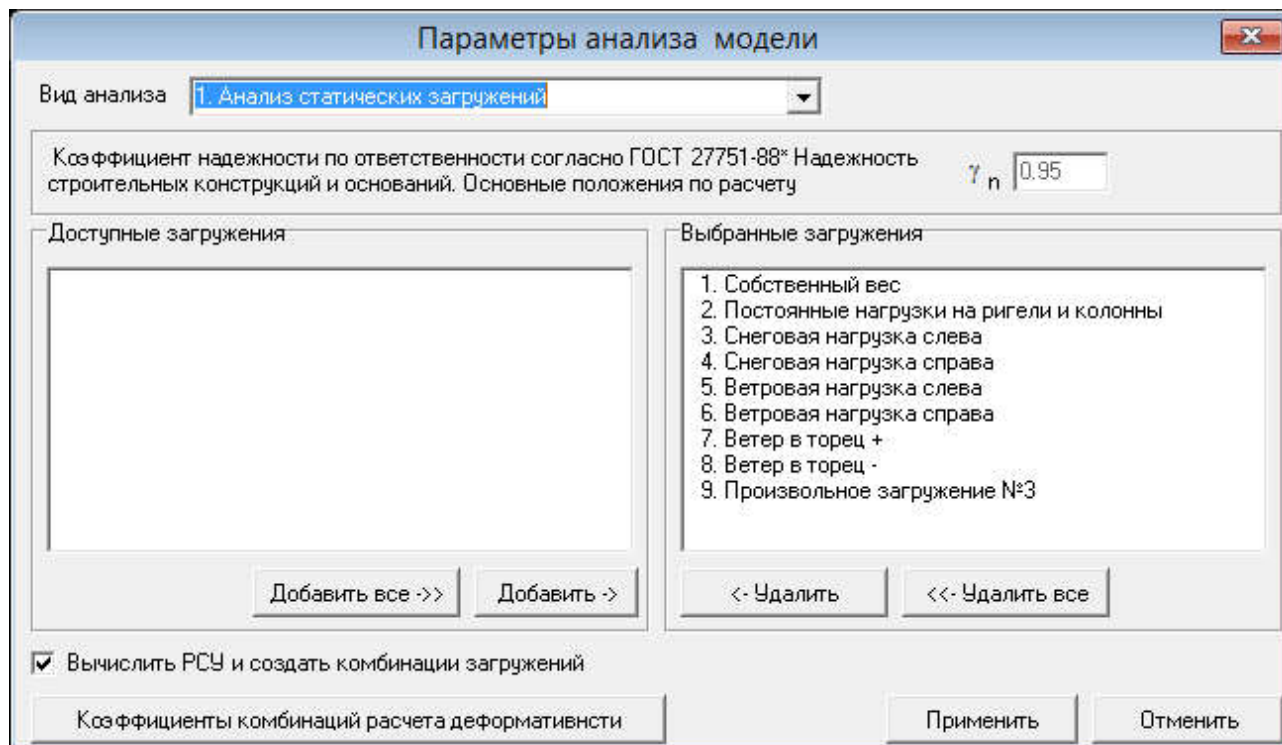


Рис. 6. 4. Диалоговое окно задания параметров анализа



Рис. 6. 5

Вычисление РСУ. Расчетные сочетания усилий по всем элементам вычисляются с помощью команды Анализ ⇒ Расчетные сочетания усилий. Диалоговое окно команды показано на рис. 6.6. В этом окне пользователь имеет возможность проверить и отредактировать коэффициенты РСУ, назначенные в соответствии со СНиП.

Вычисление РСУ выполняется автоматически после каждого статического анализа, поэтому отдельное выполнение команды имеет смысл только в том случае, если пользователь меняет настройки в данном диалоговом окне.

Выбор РСУ на элементе производится в том случае, когда критерий напряженно-деформированного состояния на элементе при допустимой комбинации загрузений достигает максимума или минимума. Список критериев приводится в таблице 6.1. Для эквивалентных напряжений, не являющихся линейными критериями, задача решается с использованием оригинального алгоритма. Поскольку $\sigma_{vonMise} \geq 0$, выбор производится только по максимальным значениям.

При включенной опции Включать в РСУ слабые комбинации загрузений РСУ выбираются, если знакопеременный критерий на комбинации достигает максимума или минимума независимо от знака критерия. При выключенной опции РСУ выбираются, если максимум критерия больше нуля, либо минимум критерия меньше нуля.

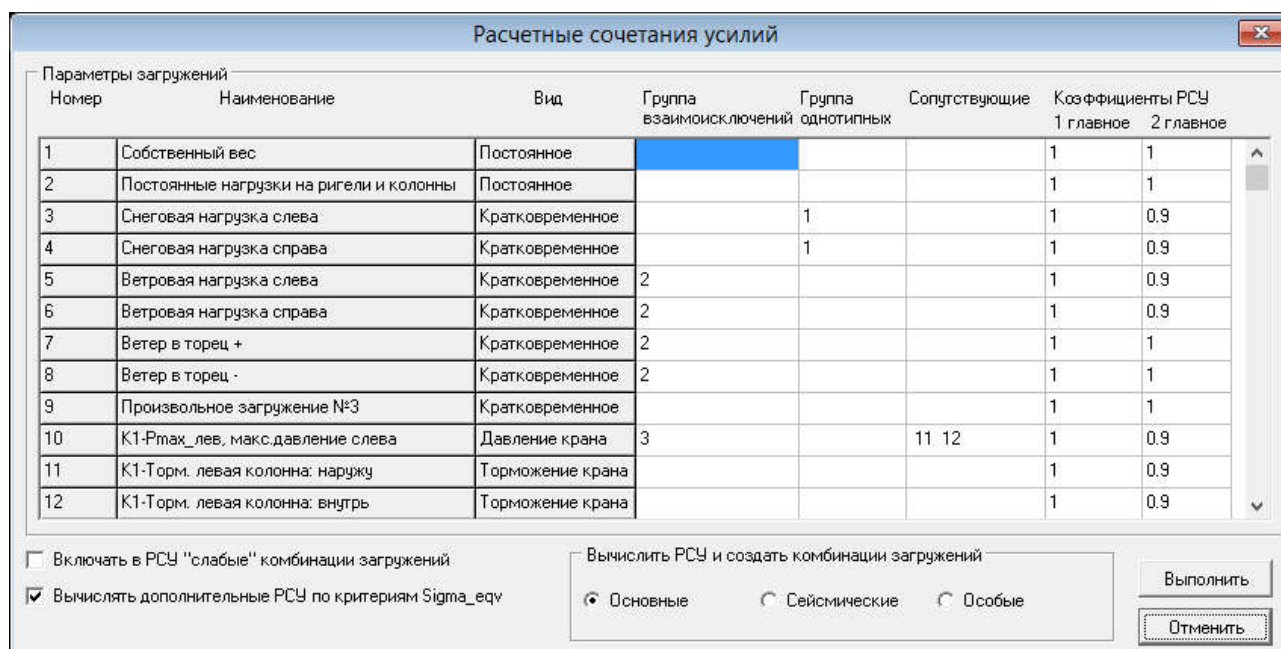


Рис. 6. 6. Диалоговое окно вычисления РСУ

Табл. 6.1 Список критериев выбора РСУ

Номер	Узлы элемента	Критерий	Принцип выбора РСУ
1	1 и 2	σ_{xx} в крайней точке наружного пояса	max, min
2		σ_{xx} в крайней точке внутреннего пояса	max, min
3		σ_{xx} в ц.т. сечения	max, min
4		τ_{xy} в ц.т. сечения	max, min
5		σ_{xx} в точке сопряжения стенки и наружного пояса	max, min
6		σ_{xx} в точке сопряжения стенки и внутреннего пояса	max, min
7		τ_{xy} в точке сопряжения стенки и наружного пояса	max, min
8		τ_{xy} в точке сопряжения стенки и внутреннего пояса	max, min
9		напряжения по Мизесу (σ_{equ}) в точке сопряжения стенки и наружного пояса	max
10		напряжения по Мизесу (σ_{equ}) в точке сопряжения стенки и внутреннего пояса	max

Комбинации загружений. Предполагается, что в отдельной комбинации загрузки достигается максимум по одному из принятых критериев напряженно-деформированного состояния хотя бы в одном элементе. Пользователь может посмотреть список комбинаций загружений и коэффициенты при загрузениях с помощью команды **Редактировать** \Rightarrow **Комбинации нагружений** в диалоговом окне, показанном на рис. 6.7.

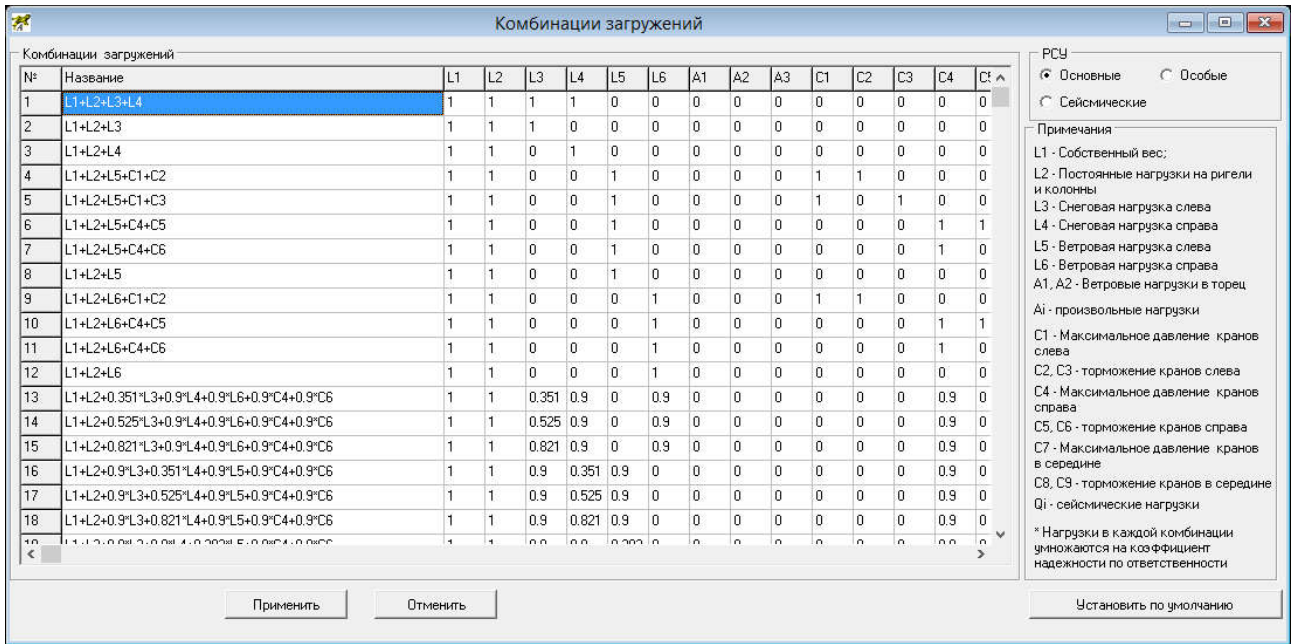


Рис. 6. 7. Комбинации загрузений, созданные после вычисления PCY

6.1.2 Анализ сейсмических загрузений

Расчет выполняется для одного из сейсмических загрузений за два шага. Вначале решается проблема собственных значений и вычисляется необходимое количество собственных форм колебаний рамы, затем вычисляются реакции на сейсмическое воздействие по каждой форме колебаний и определяется суммарная реакция. Суммарная реакция является комбинациями результатов по перемещениям в узлах и силовых факторов M , N , Q на элементах, выполненных по правилу “корень квадратный из суммы квадратов”. Напряжения в элементах при сейсмическом воздействии вычисляются по суммарным силовым факторам (M , N , Q).

6.1.3 Анализ статических и сейсмических загрузений

Расчет выполняется для выбранных статических и одного из сейсмических загрузений за три шага:

1. Анализ статических загрузений, вычисление PCY основного сочетания нагрузок
2. Анализ сейсмического загрузения
3. Вычисление PCY особого сочетания нагрузок, включающего результаты для статических и сейсмических загрузений

6.1.4 Анализ устойчивости

Анализ устойчивости выполняется для одной из заданных комбинаций загрузений. Его результатами являются результаты статического анализа для этого варианта и коэффициенты критической нагрузки для нескольких форм общей потери устойчивости. Коэффициенты критической нагрузки могут использоваться для определения расчетных длин конечных элементов.

Для выполнения анализа в диалоговом окне задания параметров выбирается опция **Анализ устойчивости по Эйлеру**, количество требуемых форм потери устойчивости и комбинация загрузений, для которой будет определен минимальный коэффициент критической нагрузки, рис. 6.8. Коэффициент критической нагрузки является множителем для комбинации загрузений, при котором произойдет общая потеря устойчивости конструкции по выбранной форме.

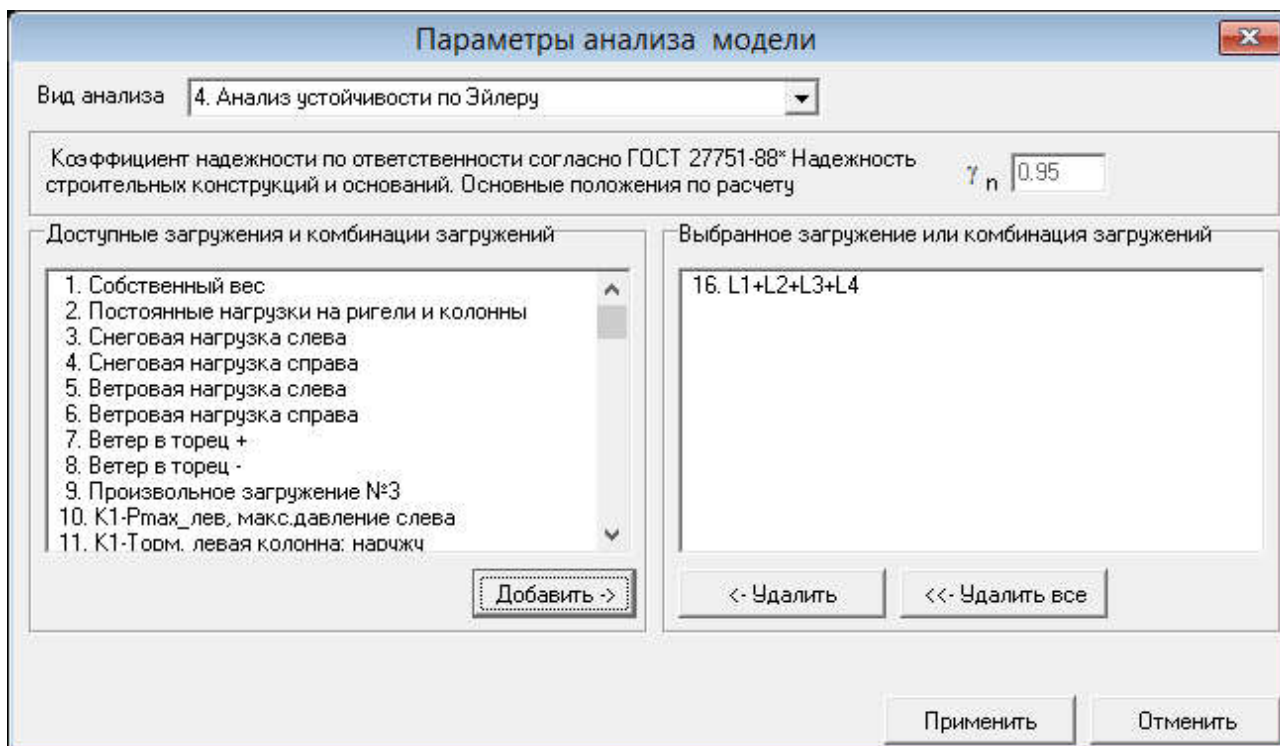


Рис. 6. 8. Диалоговое окно задания параметров анализа устойчивости

6.1.5 Анализ собственных частот и форм колебаний

Результатами данного анализа являются низшие собственные частоты и формы колебаний конструкции рамы. Для выполнения анализа в диалоговом окне задания параметров выбирается опция **Анализ собственных колебаний** и количество требуемых форм, рис. 6.9.

Инерция конструкции определяется заданными сосредоточенными массами, и нагрузками, преобразованными в массы с заданными коэффициентами.

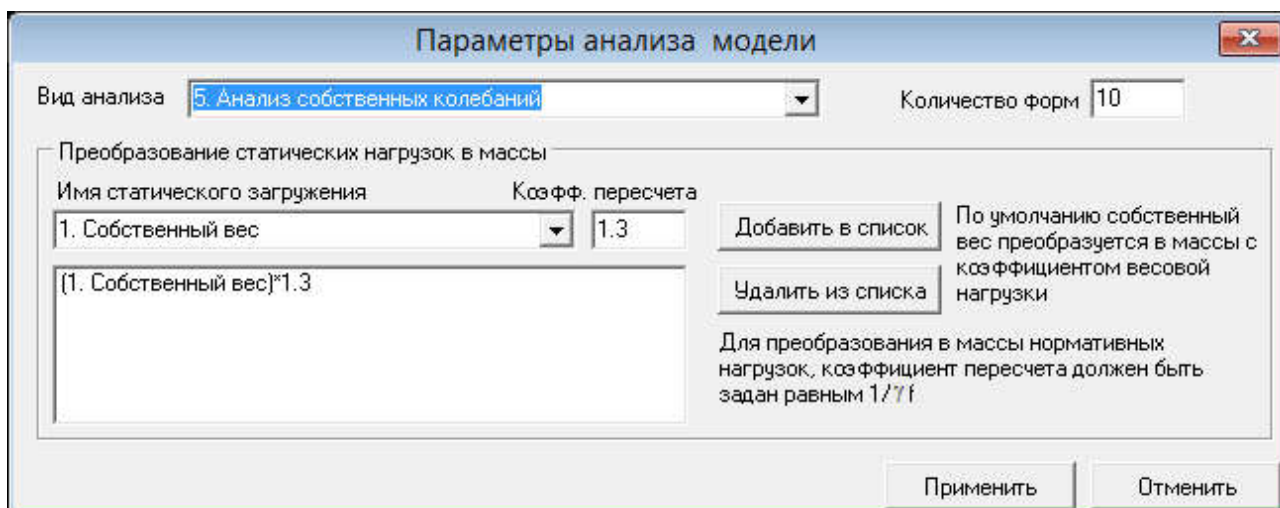


Рис. 6. 9. Диалоговое окно задания параметров анализа собственных колебаний

6.1.6 Нелинейный статический анализ

Для выполнения анализа в диалоговом окне задания параметров выбирается опция **Нелинейный статический анализ**, рис. 6.10.

При выполнении этого анализа учитывается геометрическая нелинейность конструкции рамы.

Анализ может быть проведен как для исходной (идеальной) геометрии рамы, так и для геометрии, искаженной по первой форме потери устойчивости по Эйлеру. Величина искажения, задается в окне **Параметры нелинейного расчета**, которое открывается при нажатии соответствующей кнопки, рис. 6.11.

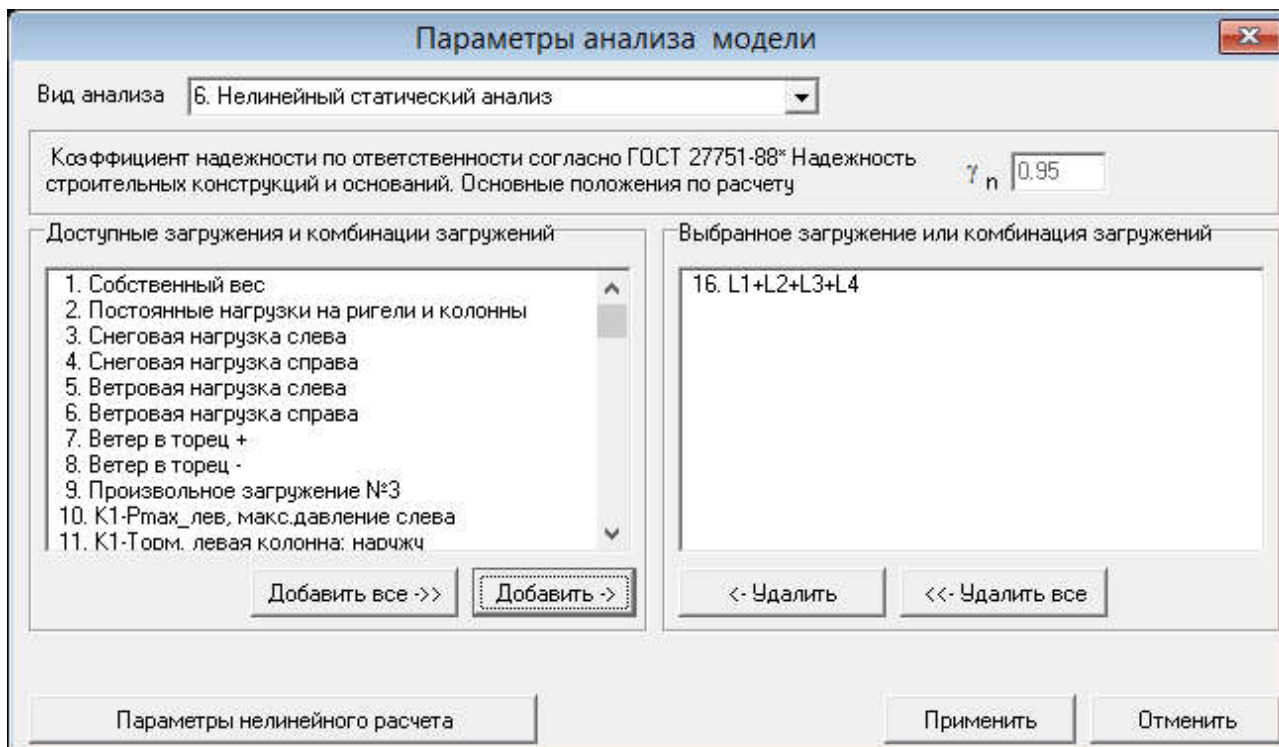


Рис. 6. 10. Диалоговое окно задания параметров нелинейного анализа

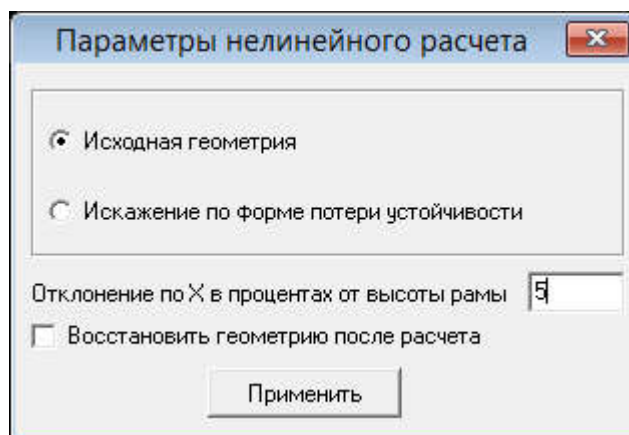


Рис. 6. 11. Диалоговое окно задания параметров искажения формы

7. Подбор сечений рамы, выполнение проверок

Команды меню **Проектирование** позволяют выполнить подбор рациональных сечений рам на основе известных методик и формул СнИП, выполнить проверки несущей способности элементов рамы в соответствии с требованиями СнИП, а также выполнить проектирование типовых узлов рам.

7.1. Подбор сечений двутавров по прочности

Реализованная в программе Гепард-А методика подбора сечений изгибаемых элементов изложена в [3] п. 28.17-28-22 и [5], табл. 2.

Выполнение команды **Проектирование** ⇒ **Подбор сечений изгибаемых элементов** начинается с назначения параметров подбора сечений в диалоговом окне, рис. 7.1.

После нажатия на кнопку **Перейти к подбору** может появиться диалоговое окно **Задание параметров анализа** – в том случае, если статический анализ не был предварительно выполнен, или параметры модели были изменены после выполнения последнего анализа.

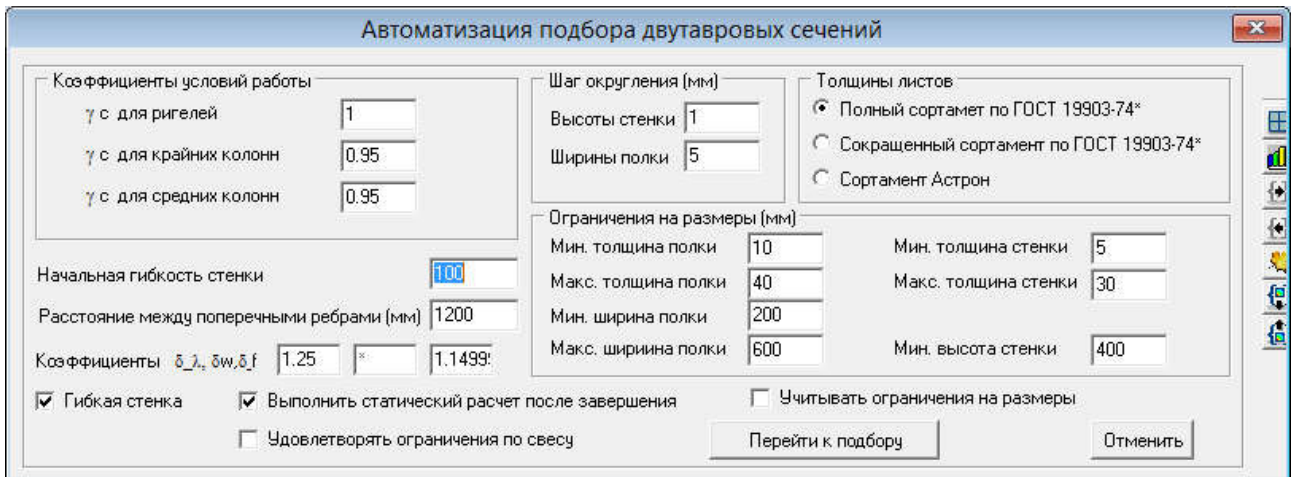
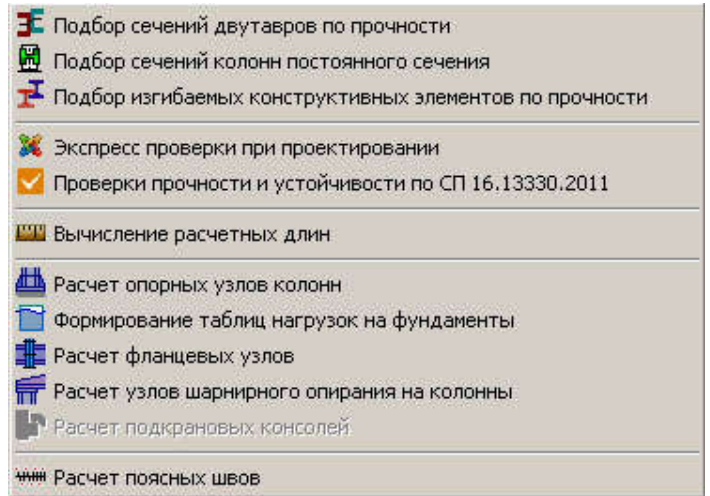


Рис. 7. 1

Подбор сечений рамы выполняется в диалоговом окне, конфигурация которого показана на рис. 7.2. Подбор может выполняться при фиксации некоторых из его параметров, для этого нужно включить флажок справа от поля параметра и нажать на кнопку **Выполнить подбор**.

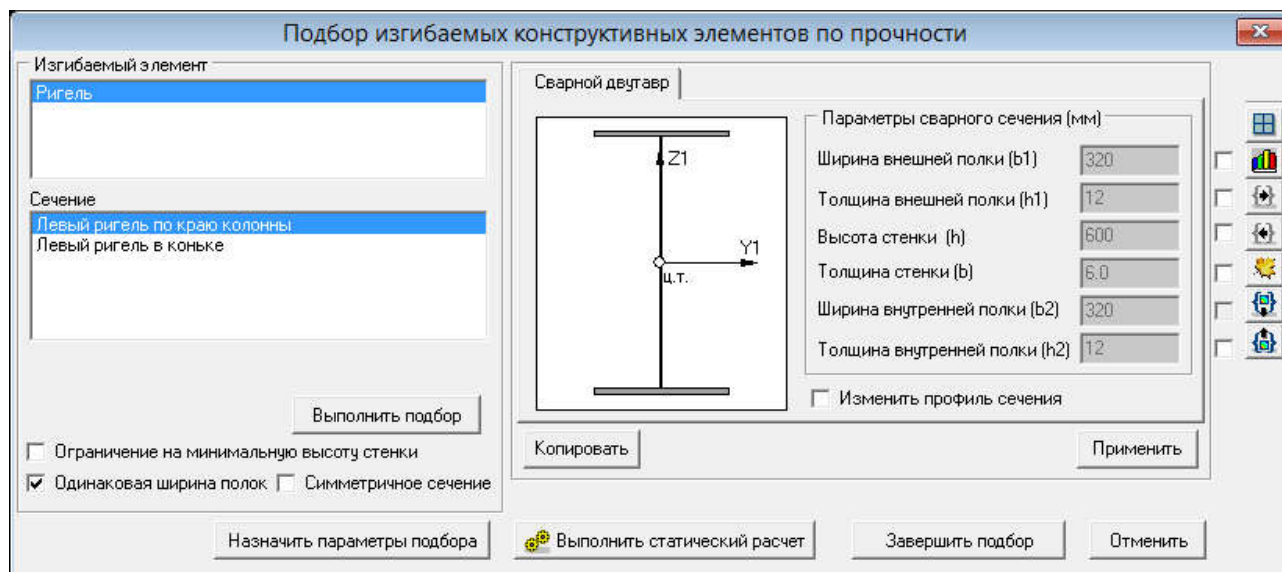


Рис. 7.2

7.2. Подбор сечений изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов

Опция подбора сечений позволяет автоматически назначить рациональные сечения всего изгибаемого или сжато-изгибаемого элемента за одну операцию. Ее удобно использовать, в частности, для ригелей и колонн рам с шарнирным опиранием на фундамент и для ригелей рам с моментным опиранием на фундамент.

Конструктивный элемент задается двумя основными сечениями в начале и в конце элемента, а также несколькими дополнительными сечениями внутри элемента. На позициях дополнительных сечений может происходить изменение толщины стенки и полок и ширины полок. Таким образом от пользователя требуется задать только позиции дополнительных сечений.

Подбор сечений изгибаемых элементов выполняется с помощью команды **Проектирование**⇒**Подбор изгибаемых конструктивных элементов по прочности**, интерфейс которой аналогичен интерфейсу команды **Проектирование**⇒**Подбор сечений двутавров по прочности**.

Однако эта возможность имеет несколько важных отличий от опции подбора сечений двутавров по прочности:

1. При подборе контролируется прочность всех сечений изгибаемого элемента, а не только заданных;
2. Из множества вариантов подобранных сечений, удовлетворяющих ограничениям по прочности, выбирается вариант с минимальным весом;
3. После выполнения команды подбора сечений пользователю не нужно выполнять операции по согласованию сечений на элементе.

Перед выполнением подбора сечений необходимо определить в модели изгибаемые элементы. Эта операция выполняется с помощью команды **Инструменты**⇒**Определить изгибаемые элементы**. При определении элемента его сечения перечисляются слева направо для левых элементов.

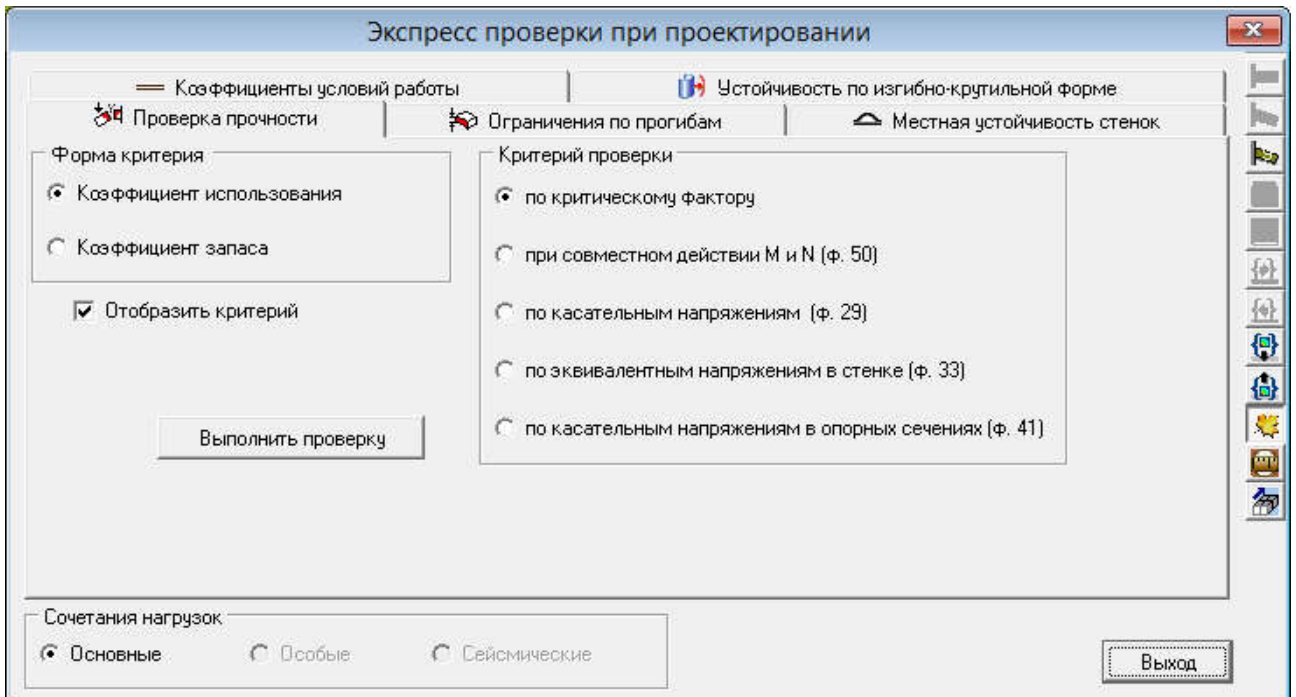
Пример подбора сечений

Откроем проект Рама_пример_1.rwk, масса рамы 8427 кг.

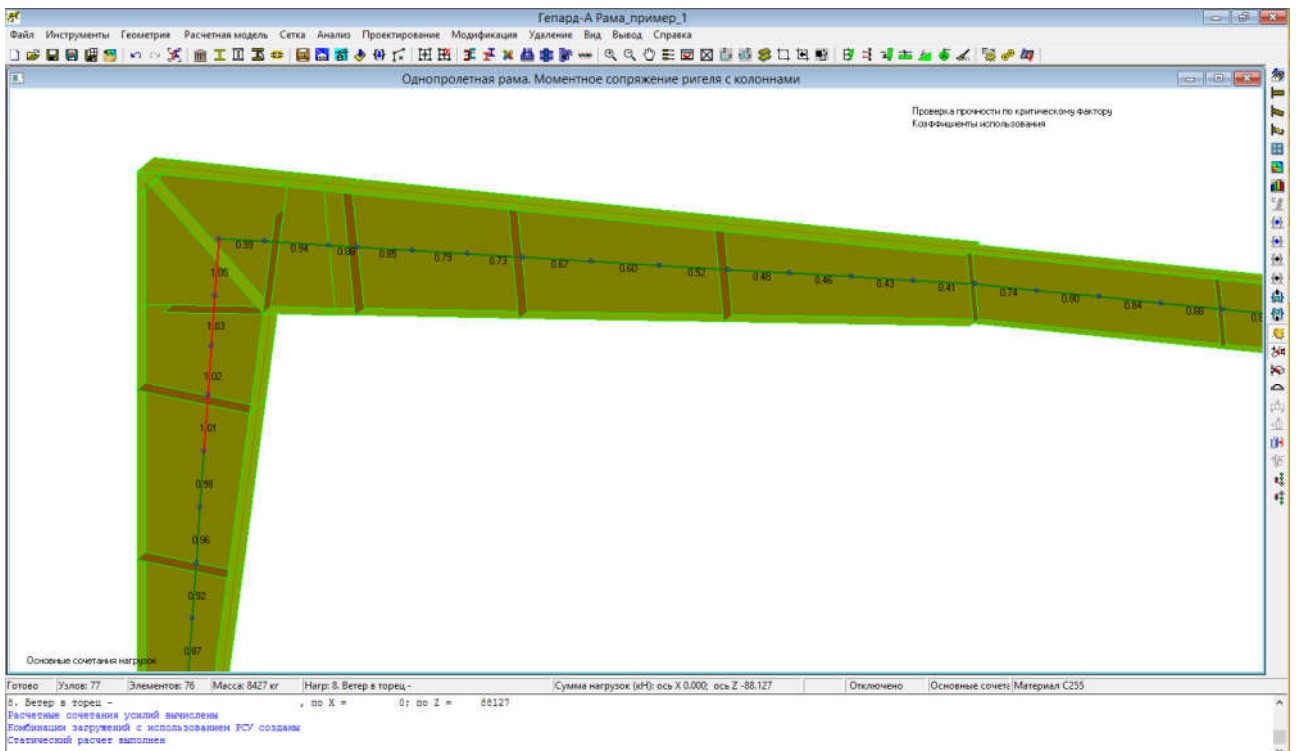
1. Выполним проверку прочности:

Проектирование⇒**Экспресс проверки при проектировании**;

Перейти на вкладку **Проверки прочности**; Включить огибающую 



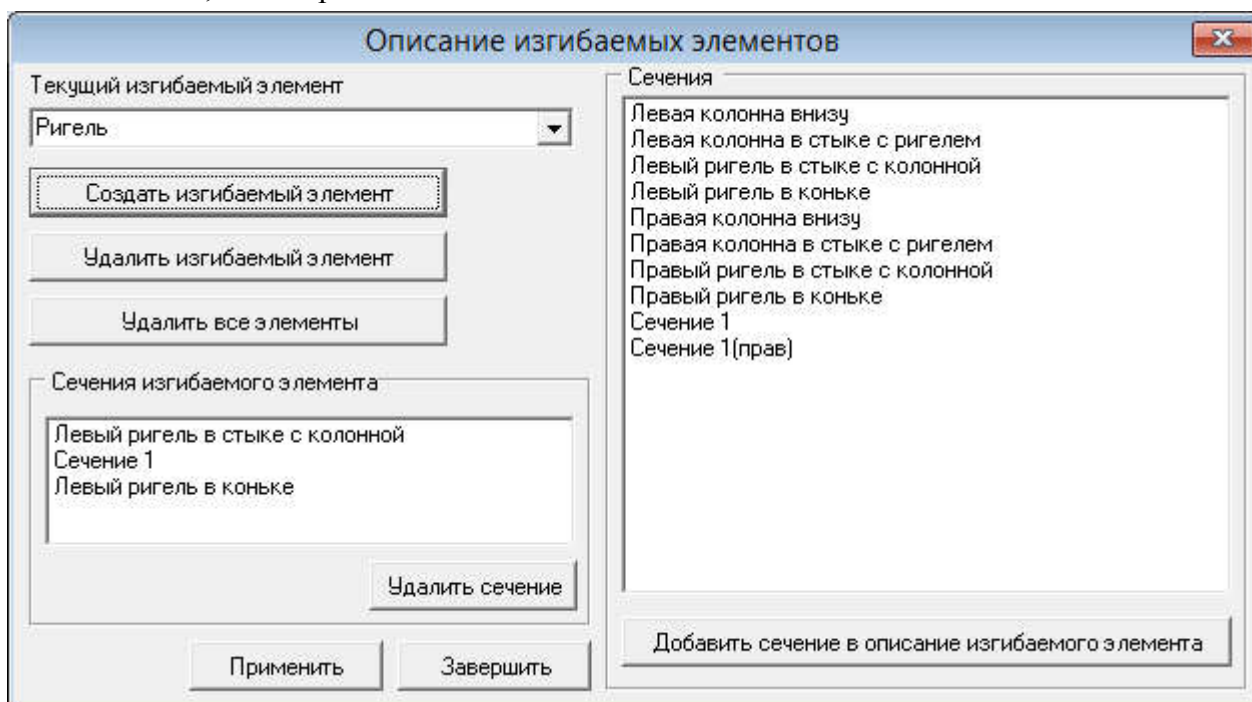
<Выполнить проверку>



2. Определим изгибаемые элементы:

Инструменты⇒**Определить изгибаемые элементы**; Название изгибаемого элемента = Ригель; <Принять>;

Выбрать последовательно в окне **Сечения**: Левый ригель в стыке с колонной; Сечение 1; Левый ригель в коньке.

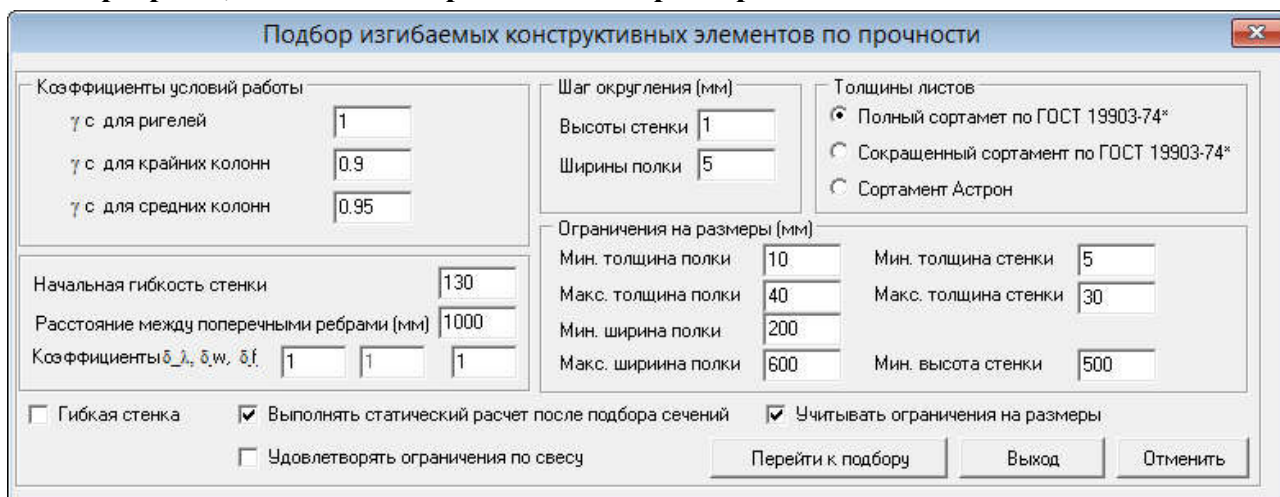


<Применить>; <Завершить>

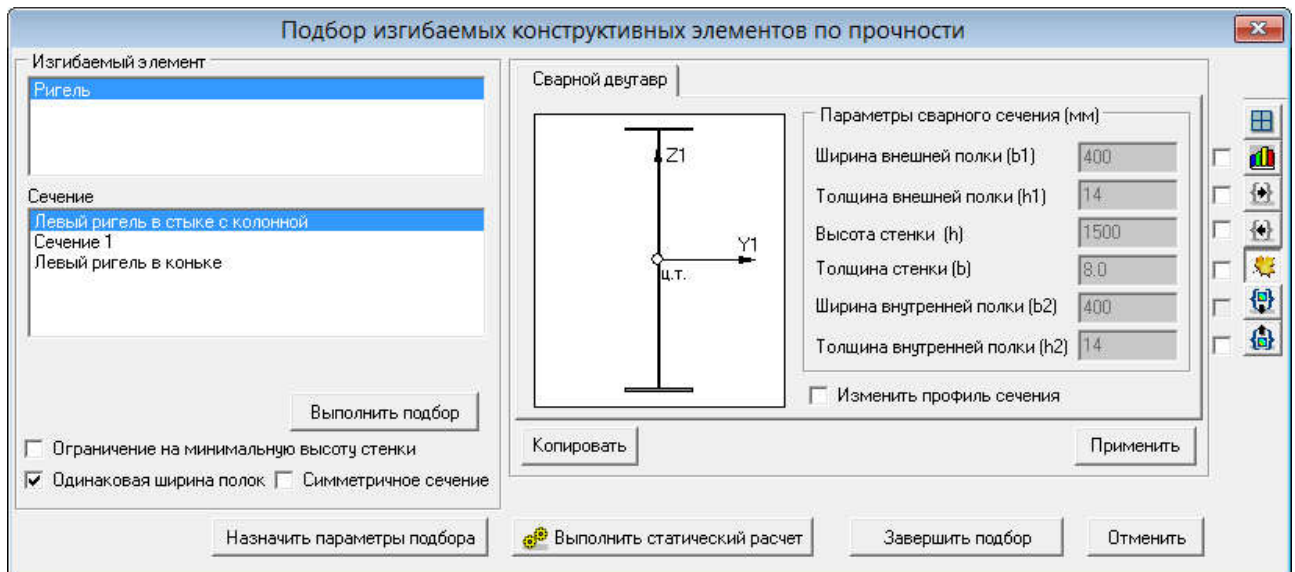
3. Выполним подбор сечений ригеля:

Проектирование⇒**Подбор изгибаемых конструктивных элементов по прочности**;

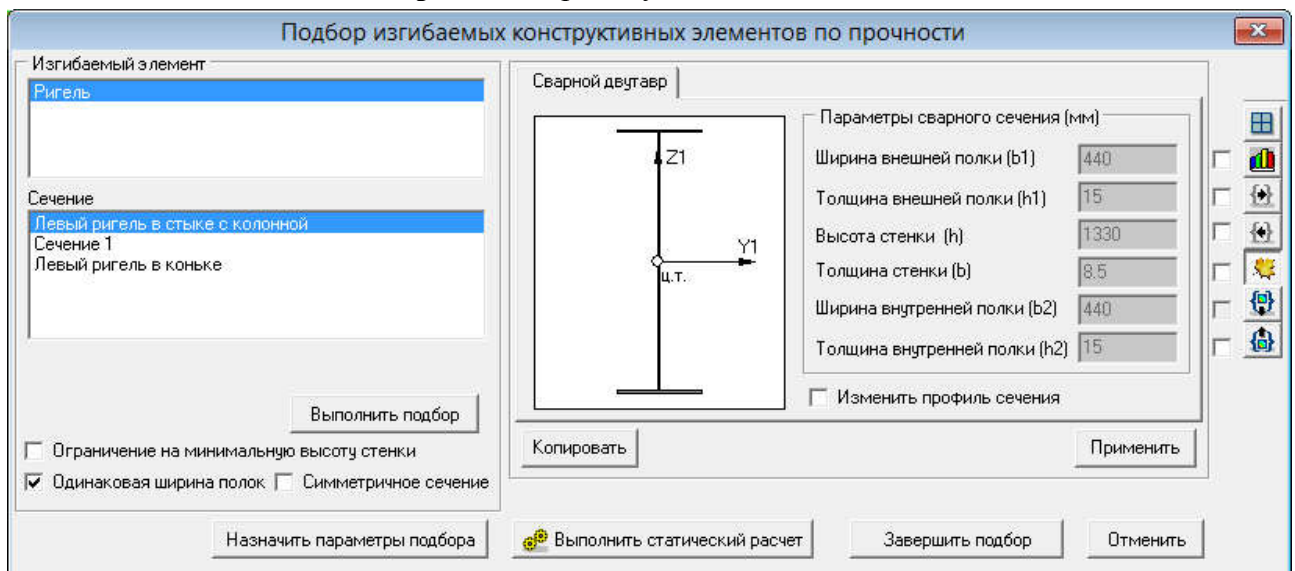
Заполнить поля **Начальная гибкость стенки** и **Расстояние между поперечными ребрами**; **Учитывать ограничения на размеры**:



<Перейти к подбору>;



<Выполнить подбор>; Масса рамы уменьшилась - 8268 кг.

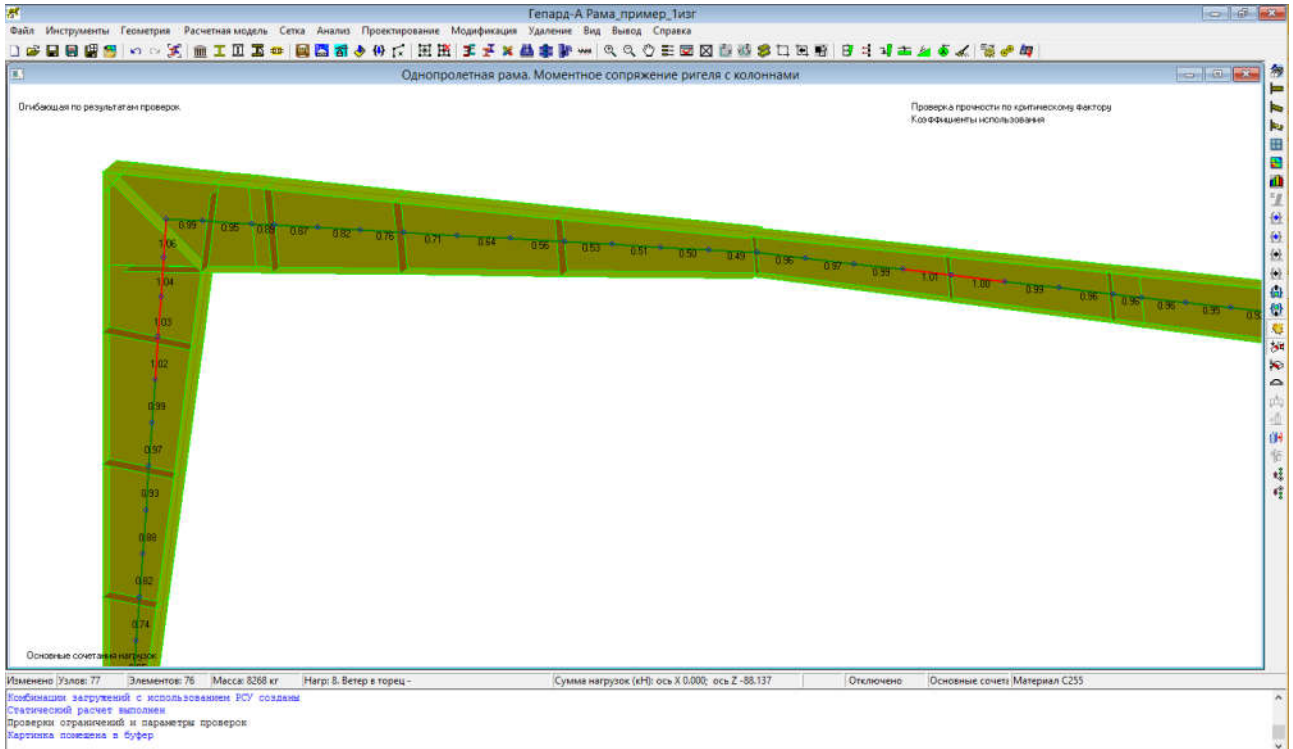


<Завершить подбор>.

4. Выполним проверку прочности:

Проектирование⇒**Проверки ограничений и параметры проверок;**

- коэффициенты использования увеличились.



7.3. Подбор сечений колонн постоянного сечения

Реализованная в программе Гепард-А методика подбора сечений колонн постоянного сечения изложена в [3] п. 28.10-28.16. Выполнение команды **Проектирование** \Rightarrow **Подбор сечений колонн постоянного сечения** начинается с назначения параметров в диалоговом окне, рис. 7.3.

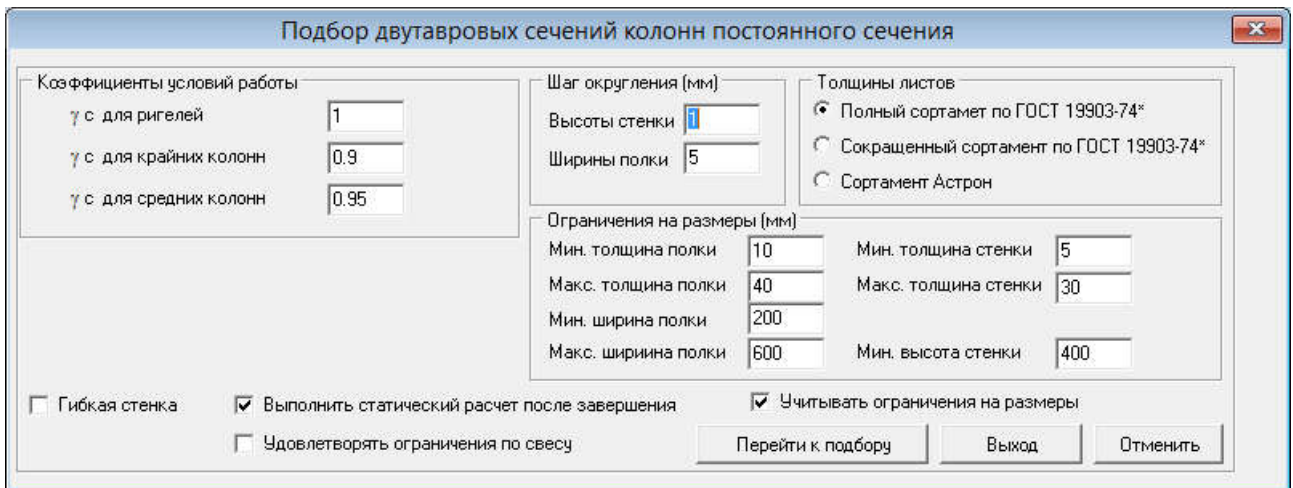


Рис. 7.3

Подбор сечения колонны выполняется в диалоговом окне, конфигурация которого показана на рис. 7.4.

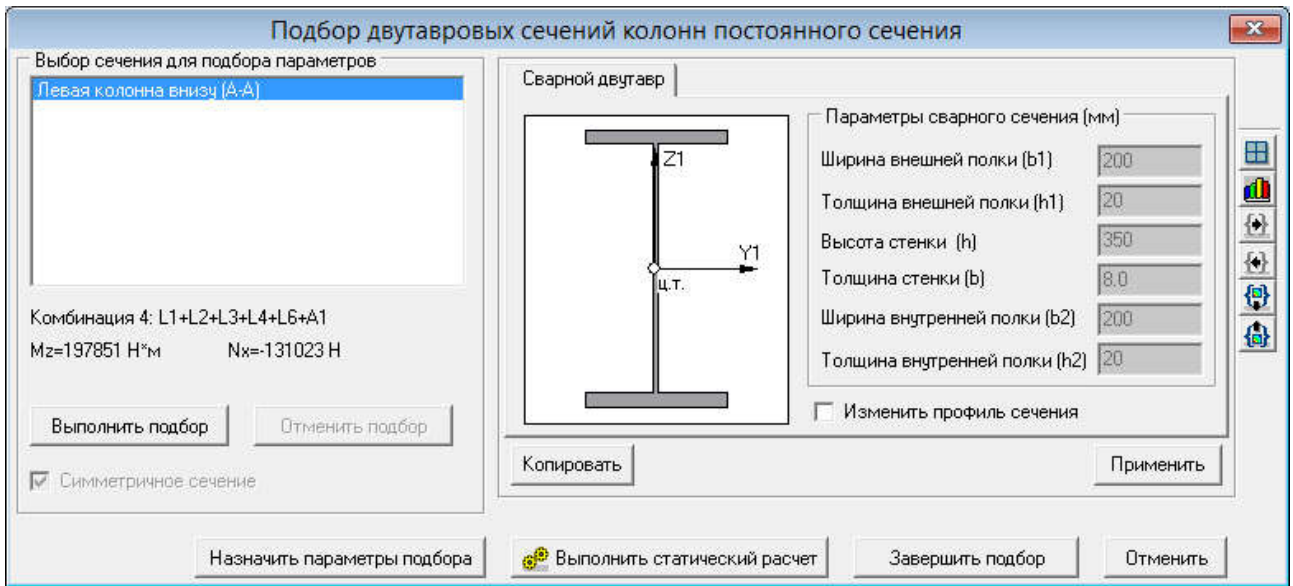


Рис. 7.4

7.4. Проверки ограничений по прочности и устойчивости

Проверки по ограниченному количеству основных критериев прочности и устойчивости, не требующих задания большого количества данных выполняются с помощью команды **Проектирование** \Rightarrow **Экспресс проверки при проектировании**. Диалоговое окно при выполнении этой команды имеет начальную конфигурацию, приведенную на рис. 7.5.

На вкладке **Коэффициенты условий работы** можно изменить значения коэффициентов γ_s .

На панели **Сочетания нагрузок** можно выбрать, при наличии сейсмических нагрузок, одно из доступных сочетаний и провести проверку с учетом или без учета дополнительного коэффициента условий работы $m_{tr} = 1.3$ для сейсмических нагрузок.

Параметры проверок прочности задаются на вкладке **Проверка прочности**, рис. 7.6.

После выбора критерия проверки и нажатия на кнопку **Выполнить проверку** элементы, для которых коэффициент использования меньше или равен 1.0 будут закрашены в зеленый цвет, а элементы, для которых коэффициент использования больше 1.0 – в красный. Рядом с элементом будет отображаться критерий в заданной форме, если будет включена опция **Отобразить критерий**. Кнопками на панели инструментов, которая находится справа, можно установить требуемую комбинацию нагрузок, для которой будет выполняться проверка, или выполнить проверку по всем комбинациям, и отобразить критерий по огибающей проверок.

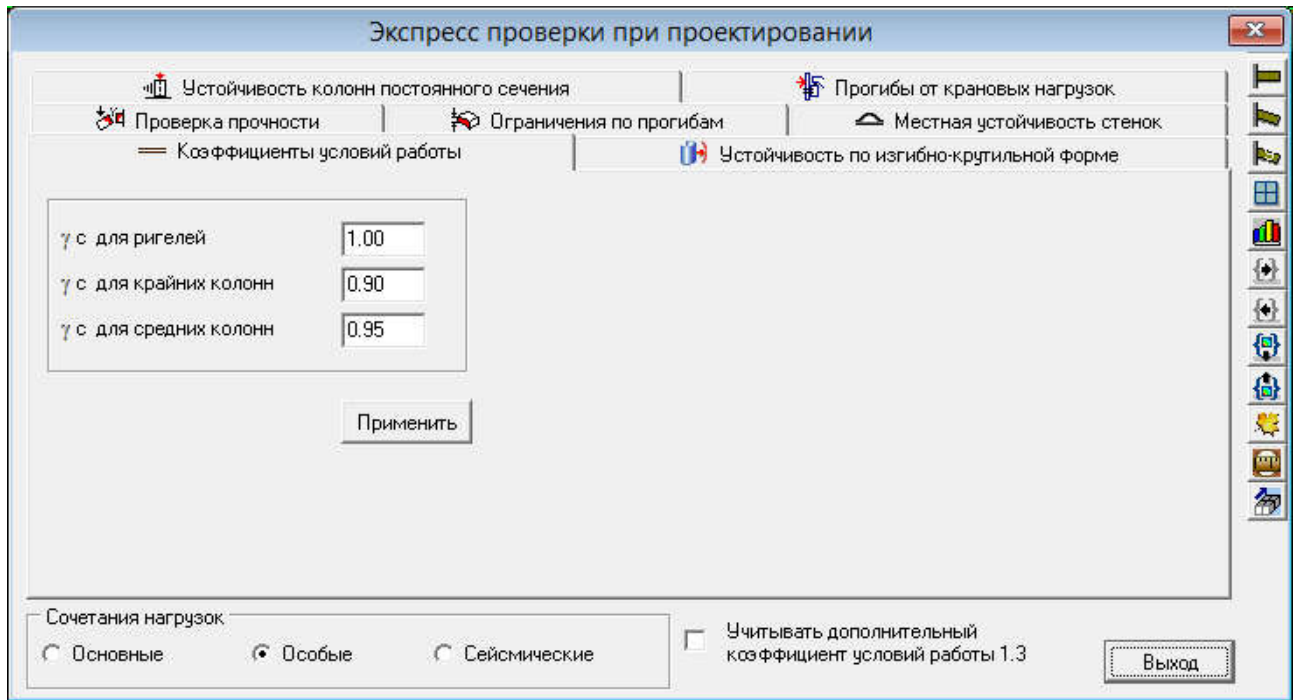


Рис. 7.5

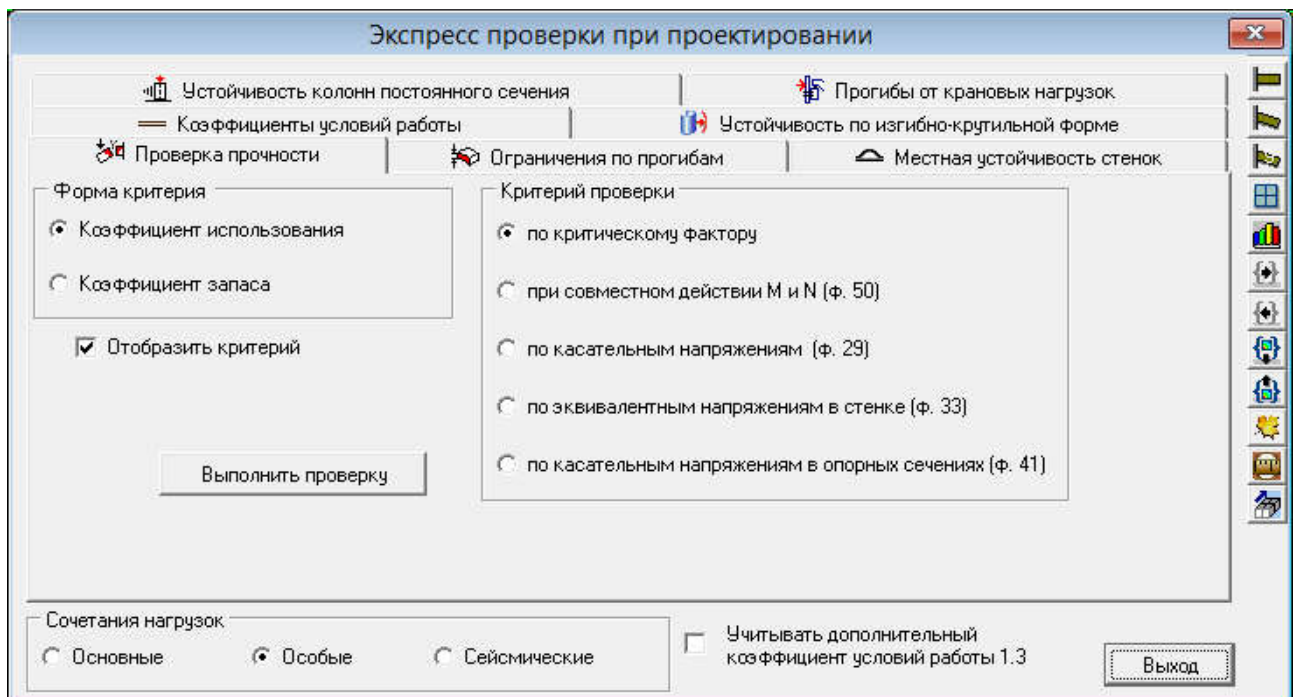


Рис. 7.6

Проверки ограничений по прогибам выполняются для узлов балочной модели рамы по комбинациям для второго предельного состояния. Параметры проверки по прогибам задаются на вкладке **Ограничения по прогибам**, рис. 7.7. Узлы, для которых проверка по прогибам выполняется, закрашиваются зеленым цветом, узлы, для которых проверка не выполняется – красным.

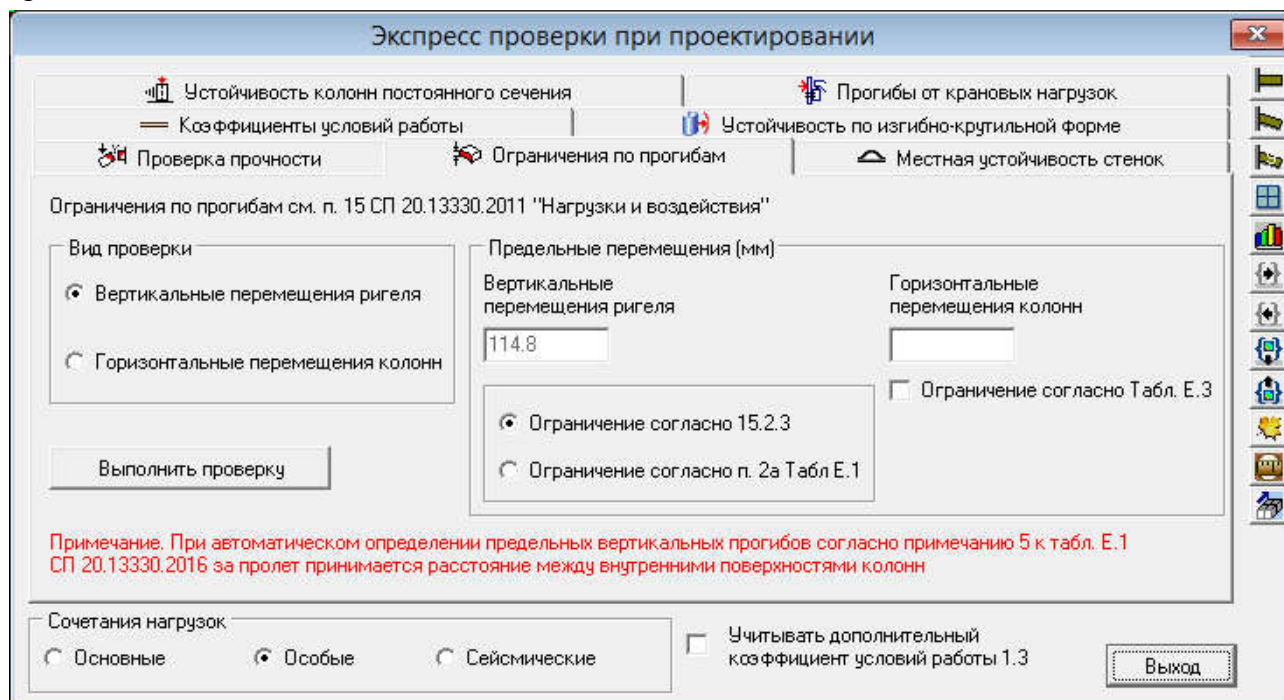


Рис. 7. 7 Экспресс-проверка прочности

Проверка местной устойчивости стенок изгибаемых элементов выполняется для отсеков конструктивных элементов нагруженных изгибом, продольной и поперечной силами. Границы отсеков определяются автоматически по основным и дополнительным сечениям, и установленным поперечным ребрам жесткости. Таким образом, перед выполнением этой проверки в модель рамы должны быть включены все необходимые ребра жесткости.

Коэффициент использования несущей способности по местной устойчивости стенок может быть вычислен одним из двух методов. На вкладке **Местная устойчивость стенок**, рис. 7.8, задается метод проверки. Метод интегральной оценки устойчивости (teta-метод) изложен в [5]. После выполнения проверки для выбранного отсека может быть получен полный отчет в формате Word.

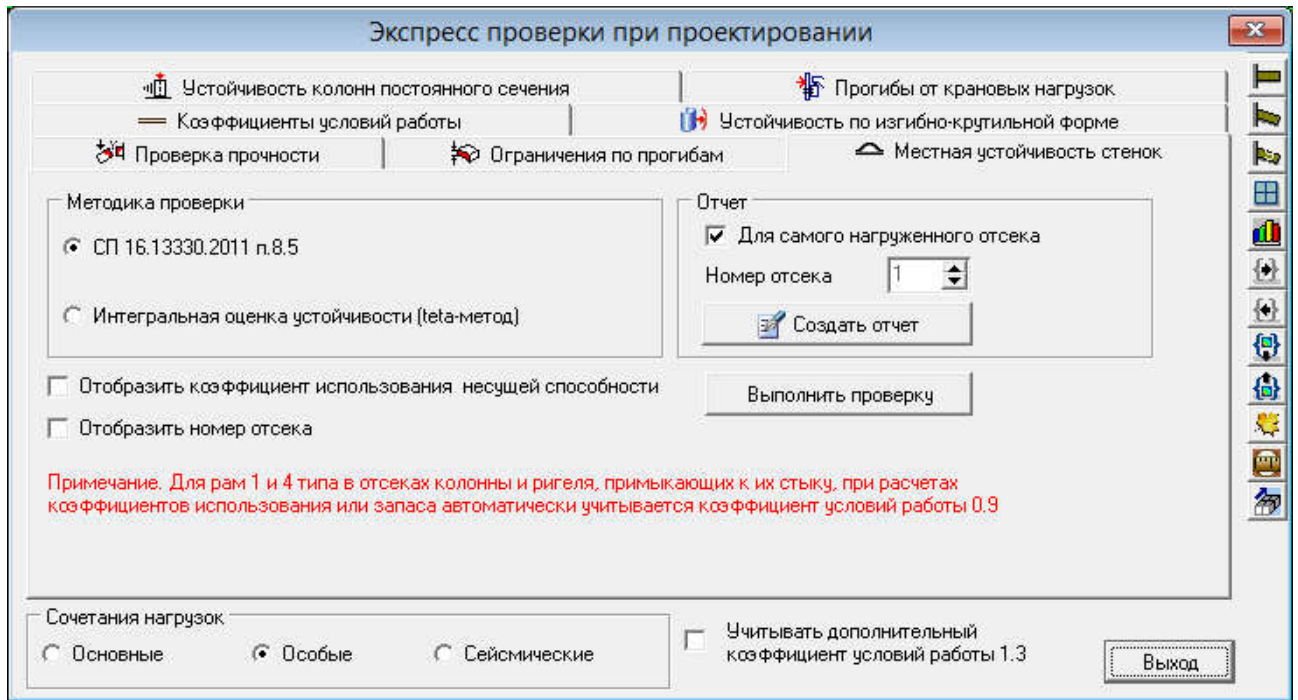


Рис. 7. 8 Экспресс-проверка местной устойчивости стенок

Проверка несущей способности ригеля с гибкой стенкой заключается в проверке прочности, свесов и устойчивости стенки и выполняется для рам, у которых в диалоговом окне задания основных параметров включена опция **При выполнении анализа считать, что ригель работает как балка с гибкой стенкой**. Требуемый критерий проверки выбирается на вкладке **Ригель с гибкой стенкой**, рис. 7.9. Для выполнения этой проверки должен быть задан шаг поперечных ребер, сами ребра могут отсутствовать в модели.

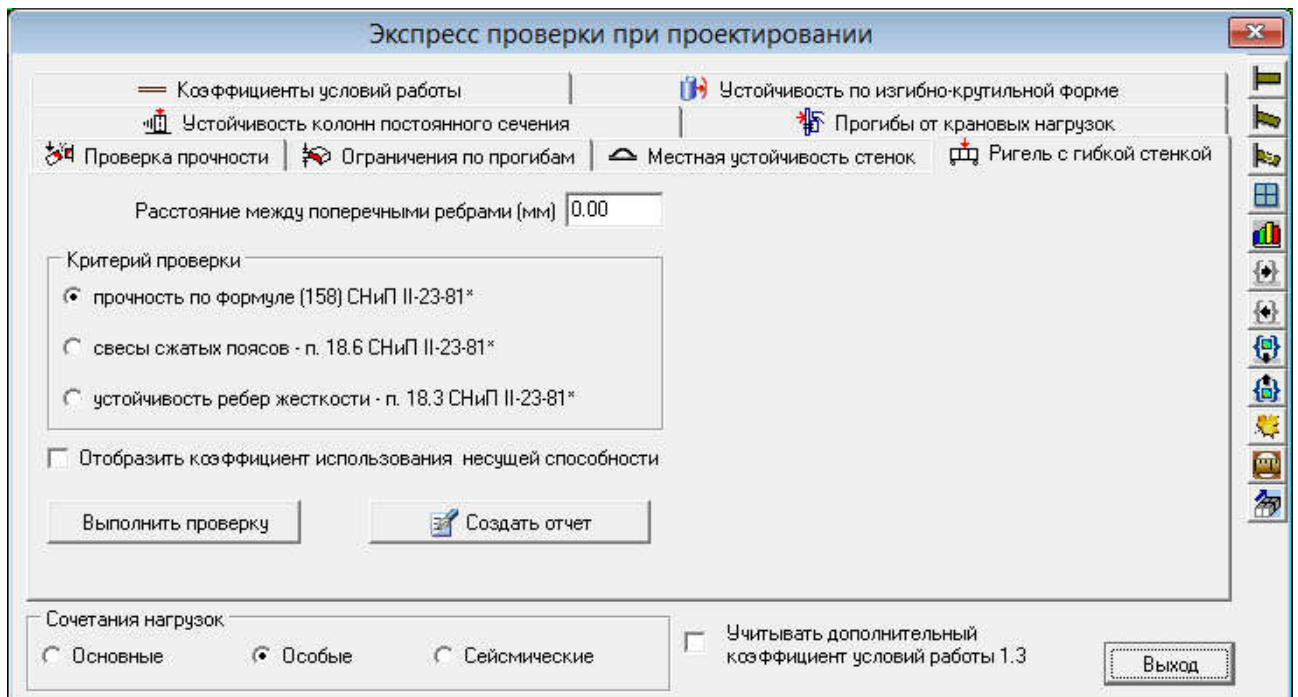


Рис. 7. 9 Экспресс-проверка ригеля с гибкой стенкой

Проверка устойчивости колонн постоянного сечения выполняется для колонн двутаврового сечения с жестким опиранием на фундамент. Проверка заключается в вычислении коэффициентов несущей способности по нескольким критериям, рис. 7.10, с использованием соответствующих формул СНиП. Проверка выполняется либо для текущей комбинации нагрузжений, либо по огибающей. При выполнении проверки используются коэффициенты расчетных длин. После выполнения проверки для выбранной колонны может быть получен полный отчет в формате Word.

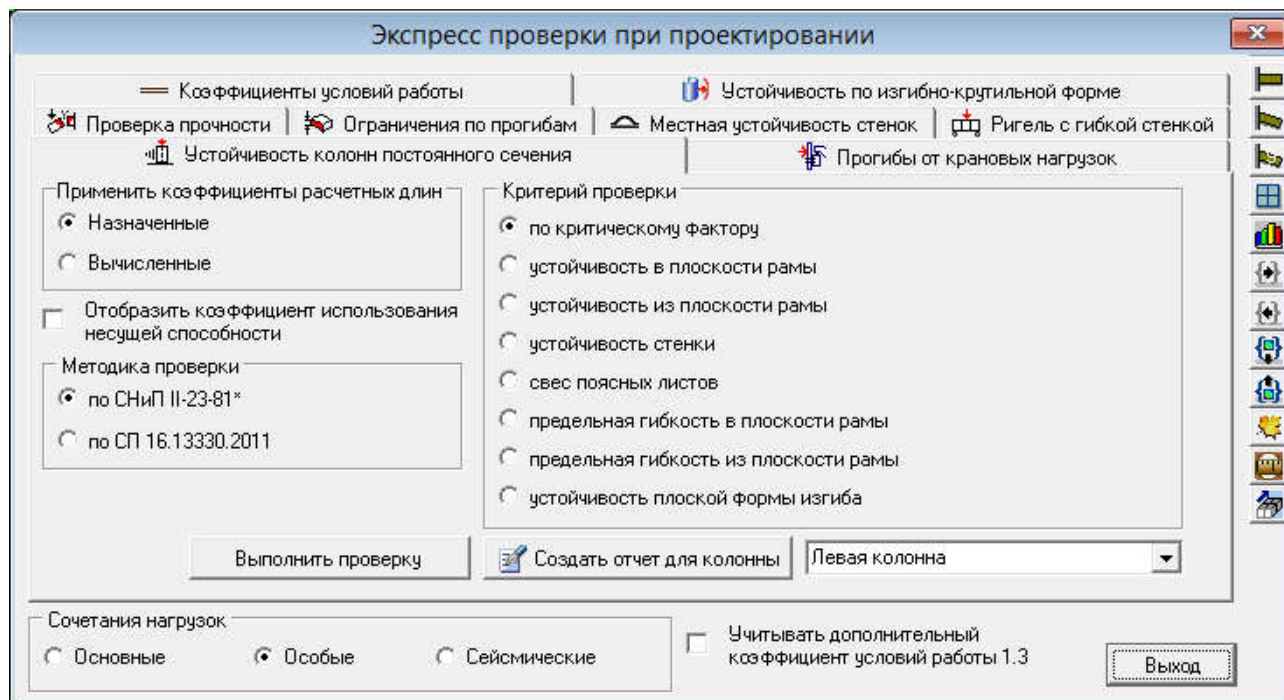


Рис. 7. 10 Экспресс-проверка устойчивости колонн постоянного сечения

Проверка устойчивости изгибаемых элементов по изгибно-крутильной форме выполняется для участков конструктивных элементов, в которых приведенный относительный эксцентриситет $m_{ef} > 20$, рис. 7.11. Проверка выполняется в соответствии с п. 8.4.1, 8.4.4, 8.4.6 [6]. Перед выполнением проверки необходимо убедиться, что типы заданный тип закрепления и вид нагружения соответствуют конструктивному элементу.

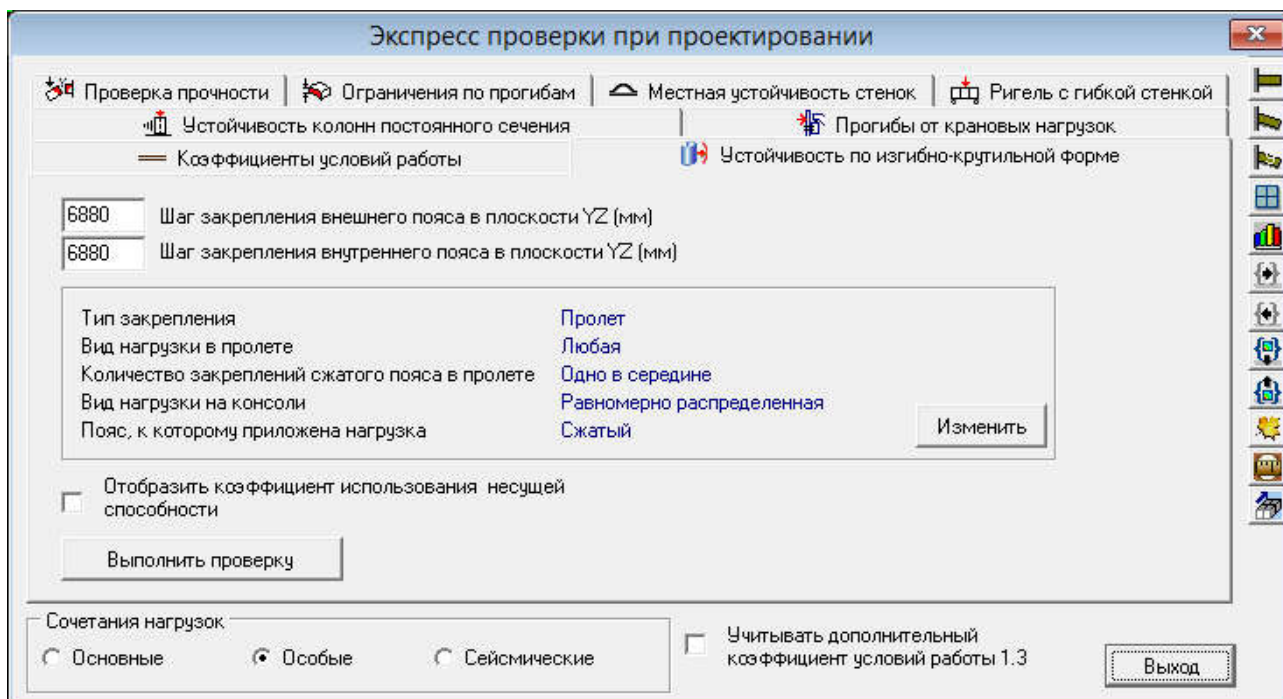


Рис. 7. 11 Экспресс-проверка устойчивости по изгибно-крутильной форме

Проверка прогибов колонн от крановых нагрузок выполняется на соответствующей вкладке, рис. 7.12. Проверка выполняется только для загружений и комбинаций, включающих нагрузки от торможения кранов.

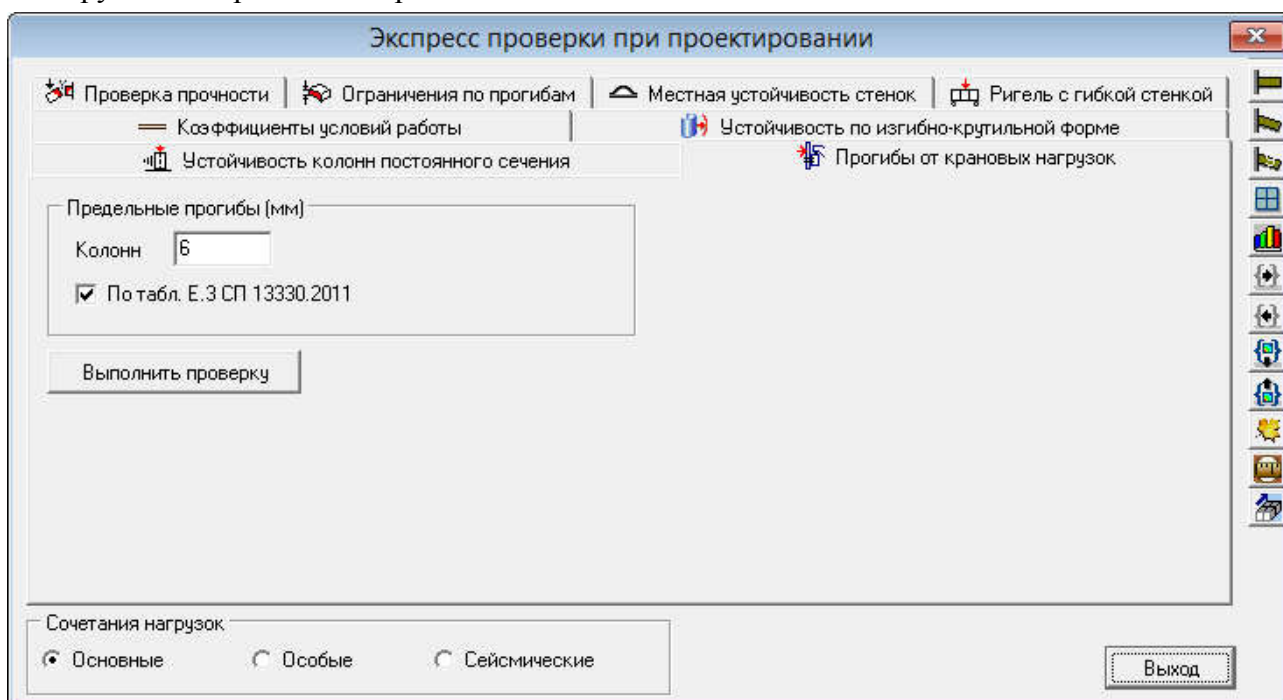


Рис. 7. 12 Экспресс-проверка прогибов от крановых нагрузок

7.6. Проверка прочности и устойчивости элементов по СП 16.13330.2011

Проверка выполняется с помощью команды **Проектирование** ⇒ **Проверка прочности и устойчивости элементов по СП 16.13330.2011**. Диалоговое окно при выполнении этой команды имеет конфигурацию, приведенную на рис. 7.13.

После выбора группы на Шаге 2 задаются параметры проверок, рис. 7.14. По умолчанию, часть параметров соответствует заданным ранее параметрам рамы, например, коэффициент условий работы γ_c , или расчетные длины.

При выборе проверок на Шаге 3 учитываются РСУ для элементов группы и заданные параметры проверок. Список проверок отображается после нажатия кнопки **Шаг 3**, а после нажатия кнопки **Шаг 4** рядом с наименованием проверки появляется соответствующий коэффициент использования, рис. 7.15.

После выполнения проверок может быть выведен сводный отчет по группам – кнопка **Вывод Сводного отчета**.

Подробнее о функциях проверок в разделе 16.

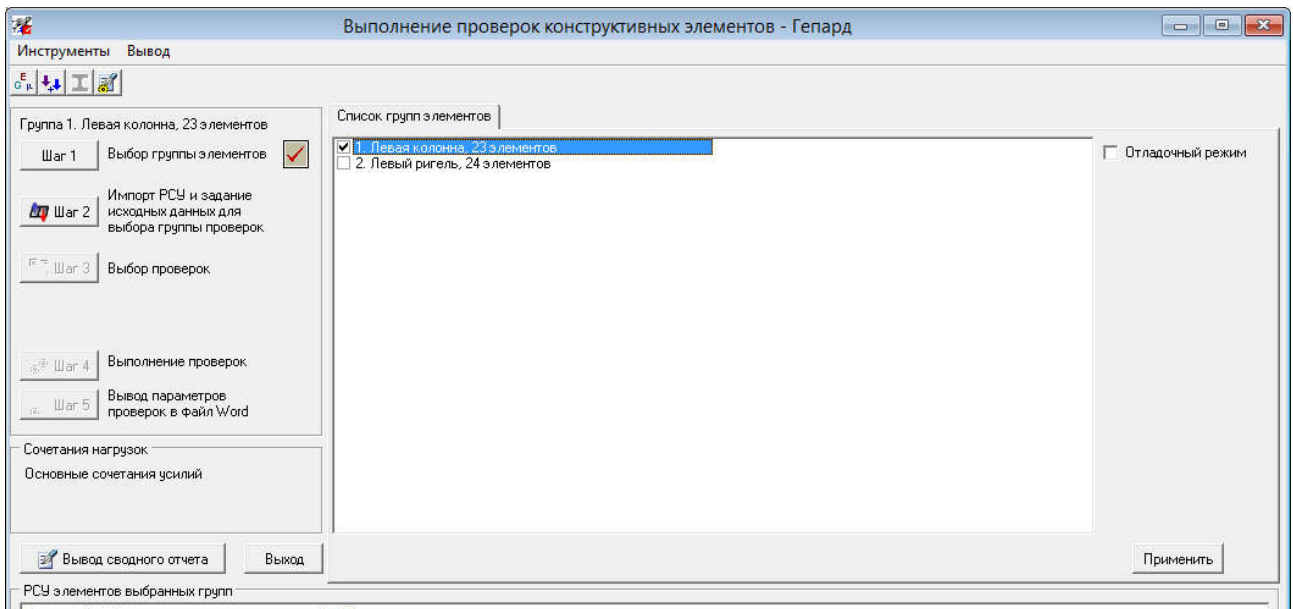


Рис. 7.13

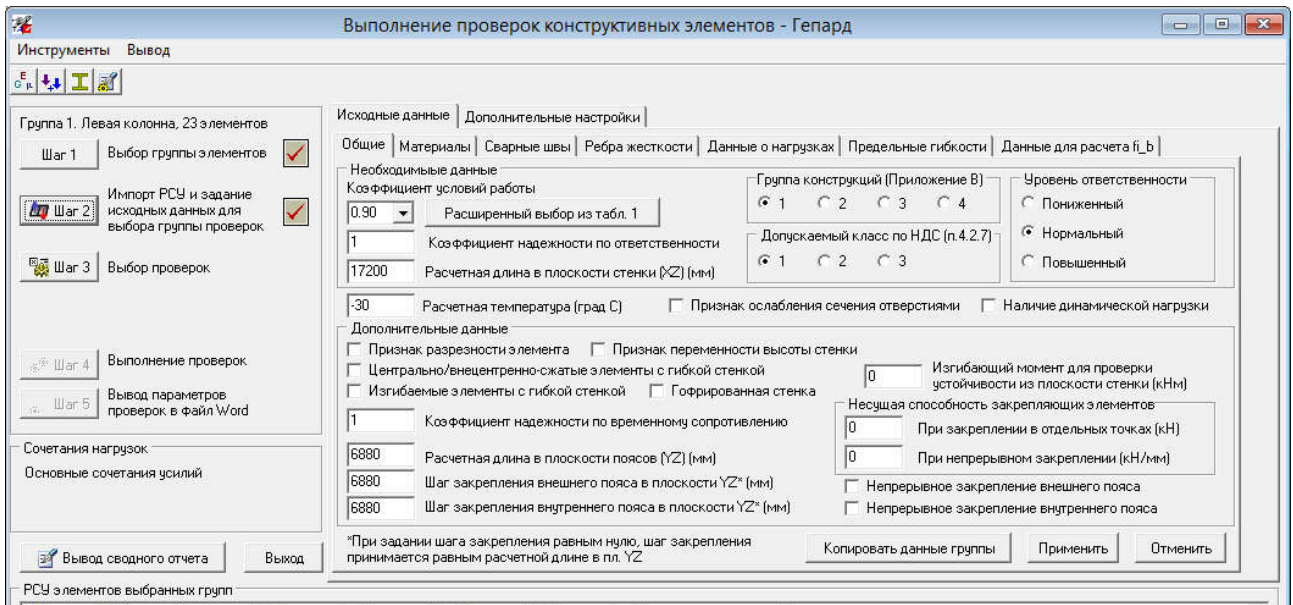


Рис. 7. 14

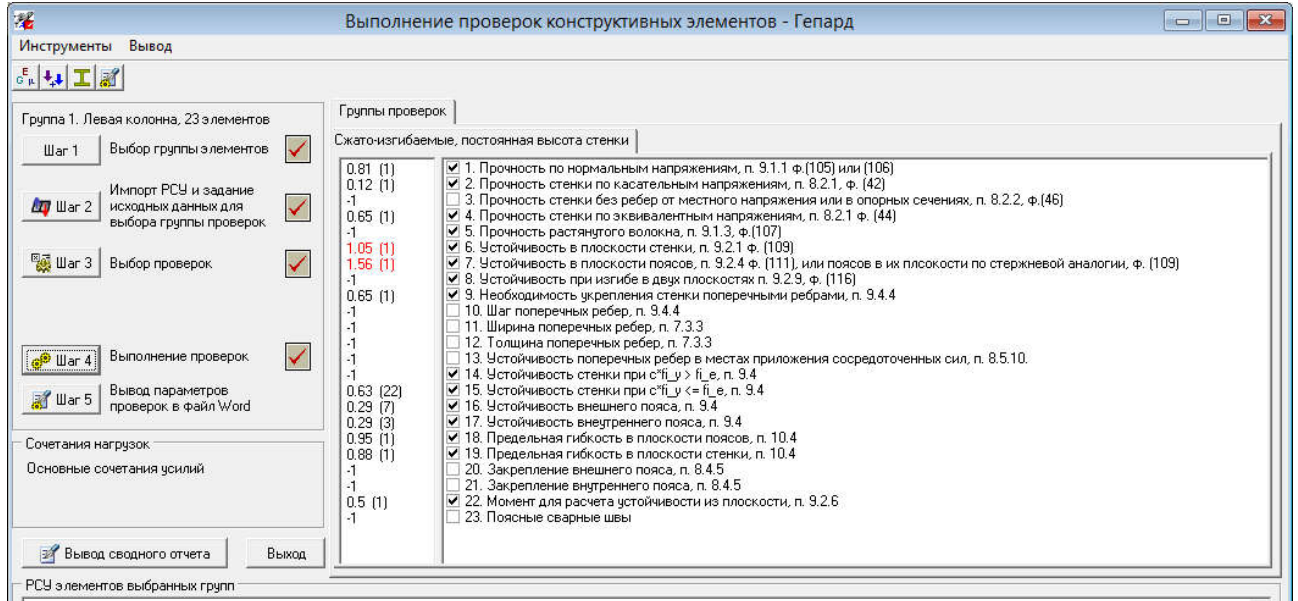


Рис. 7. 15

7.7. Вычисление расчетных длин

Вычисление расчетных длин конечных элементов балочной модели выполняется автоматически после расчета потери устойчивости по Эйлеру. Команда **Проектирование** \Rightarrow **Вычисление расчетных длин** позволяет вывести энергетические критерии, по которым определяется номер формы потери устойчивости для конструктивных элементов рамы. Энергетические критерии и номера форм выводятся в таблице диалогового окна команды, рис. 7.16.

Энергия деформации конечного элемента при малых перемещениях вычисляется как

$$E_e = \{u\}_e^t [k]_e \{u\}_e,$$

здесь $\{u\}_e$ – вектор перемещений на элементе, $[k]_e$ – матрица жесткости элемента.

Удельная энергия деформации конструктивного элемента подсчитывается как сумма удельных энергий деформаций конечных элементов, входящих в этот конструктивный элемент, при перемещениях под действием статической нагрузки. По определению все эти величины положительны.

Если подсчитать энергию деформации E_g конструкции по i -ой собственной форме потери устойчивости, то она по определению будет равна нулю:

$$\{q_i\}^t ([K] + \lambda_i [K_g]) \{q_i\} = 0,$$

здесь $\{q_i\}$ – вектор i -ой собственной формы потери устойчивости, $[K]$ – матрица жесткости конструкции, $[K_g]$ – матрица геометрической жесткости конструкции, λ_i – коэффициент критической нагрузки.

Это значит, что вычисленная таким образом, энергия деформации на элементах может быть как положительной, так и отрицательной.

Вывести диаграмму энергетических критериев потери устойчивости можно нажатием кнопки



на правой вертикальной панели инструментов.

Отрицательная энергия деформации означает, что на данном элементе работа внешних сил превышает внутреннюю энергию деформации – элемент “потерял устойчивость”, положительная энергия означает, что при данной форме потери устойчивости внутренняя энергия деформации превышает работу внешних сил, элемент стремится вернуться к статической форме равновесия. Преобладание элементов с отрицательной энергией позволяет сделать вывод, что данный конструктивный элемент теряет устойчивость по данной форме, рис. 7.17. Пользователь может по своему усмотрению изменить номер формы в табл. 1, и затем вычислить расчетные длины элементов, нажав соответствующую кнопку. Эти расчетные длины элементов будут транслироваться в текстовый файл при выполнении команды экспорта расчетной модели в формате программы SCAD.

Вычисление расчетных длин элементов

Энергетические критерии по формам потери устойчивости*

	Форма 1		Форма 2		Форма 3	
	Ed	Eg	Ed	Eg	Ed	Eg
Левая колонна	5.4	-26.3	12.6	25.8	20.5	-11.2
Ригель	44.5	22.7	36.5	-25.3	29.5	-32.0
Правая колонна	5.6	-28.4	13.7	27.0	21.6	-15.2
Ригель	44.6	22.6	37.2	-21.9	28.4	-41.5

Табл. 1. Номера форм потери устойчивости, по которым будут вычисляться расчетные длины

Конструктивный элемент	Номер формы
Левая колонна	1
Ригель	2
Правая колонна	1
Ригель	2

* Ed - удельная энергия деформации (%).
Eg - энергия деформации с учетом геометрической МЖ (%)

Расчетные длины вычислены с использованием номера формы из таблицы 1

Рис. 7. 16

Форма потери устойчивости 1, коэффициент критической нагрузки: 31.3504
 $\delta\chi_{min} = -0.0000$, $\max = 1000.0$
 $\delta z_{min} = -471.25$, $\max = 471.24$

Энергетические критерии потери устойчивости

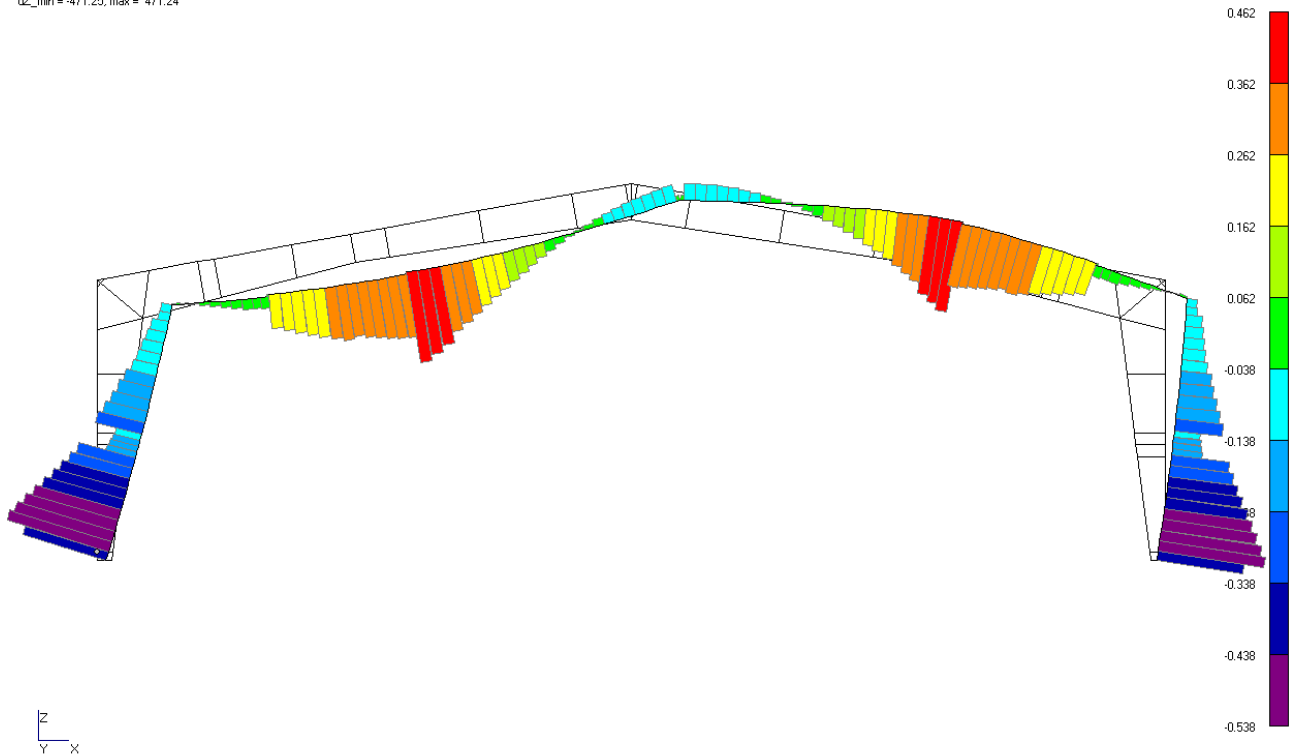


Рис. 7.17

7.8. Расчет поясных сварочных швов

При расчете поясных сварочных швов используется методика, приведенная в [2] п. 15.1. Перед расчетом поясных швов выполняется статический анализ, и назначаются параметры сварных швов в диалоговом окне, рис. 7.18.

Параметры сварных швов			
Расчетное сопротивление угловых швов (МПа)			
Rwf, табл. Г.2. СП 16.13330.2011	215		
Rup для стали С255	370		
Rwz = 0.45Rup	167		
Расчетное сопротивление стыковых соединений ... (МПа)			
Rwy=0.85Ru, табл. 4. СП 16.13330.2011	204.0		
Коэффициенты			
beta_f	0.7	gamma_wf	1
beta_z	1	gamma_wz	1
Вид сварки			
<input checked="" type="radio"/> Ручная дуговая			
<input type="radio"/> Автоматическая и механизированная			
Принять			
Отменить			

Рис. 7.18

Размеры катетов сварных швов определяются в границах отсеков.

Результаты расчета появляются в таблице диалогового окна.

№ отсека	Расположение	Начало	Конец	Наружный шов	Катет (мм)	Кэфф. исп.	Внутренний шов	Катет (мм)	Кэфф. исп.
1	левая колонна	-300	2000	2-сторонн.	4	0.41	2-сторонн.	4	0.47
2	левая колонна	2000	4000	2-сторонн.	4	0.24	2-сторонн.	4	0.28
3	левая колонна	4000	6000	2-сторонн.	4	0.17	2-сторонн.	4	0.21
4	левая колонна	6000	7200	2-сторонн.	4	0.14	2-сторонн.	4	0.18
5	левый ригель	1381	2500	2-сторонн.	4	0.18	2-сторонн.	4	0.18
6	левый ригель	2500	4500	2-сторонн.	4	0.16	2-сторонн.	4	0.16
7	левый ригель	4500	7000	2-сторонн.	4	0.16	2-сторонн.	4	0.16
8	левый ригель	7000	10000	2-сторонн.	4	0.15	2-сторонн.	4	0.15
9	левый ригель	10000	13000	2-сторонн.	4	0.12	2-сторонн.	4	0.12
10	левый ригель	13000	15500	2-сторонн.	4	0.07	2-сторонн.	4	0.07

Тип шва, принимаемый по умолчанию
 Односторонний Двусторонний

Параметры сварных швов Создать отчет **Выполнить расчет** Выход

Рис. 7. 19

8. Проектирование типовых узлов

Программа Гепард-А предоставляет возможность выполнить в автоматизированном режиме проектирование следующих типовых узлов рам:

- опорных узлов колонн на фундамент;
- узлов шарнирного опирания ригеля на колонну;
- фланцевых узлов различных видов;
- подкрановых консолей.

Также есть возможность формирования таблицы нагрузок на фундамент.

8.1. Проектирование опорных узлов колонн на фундамент

При выполнении команды **Расчет опорных узлов колонн на фундамент** меню **Проектирование** рассматривается два вида опирания:

- шарнирное опирание на фундамент;
- моментное сопряжение колонн с фундаментами.

Диалоговое команды, в котором выбирается тип исполнения базы колонны, показано на рис. 8.1.

Кнопка **Конструктивные параметры** обеспечивает доступ к просмотру и изменению параметров, назначаемых по умолчанию, рис. 8.2.



Кнопка  позволяет переключаться между сочетаниями нагрузок.

Кнопка **Компоновка опоры** позволяет получить приемлемый вариант размеров плиты и параметров болтов выбранного исполнения базы, рис. 8.3.

После нажатия кнопки **Принять размеры** программа вычисляет требуемые размеры ребер, диафрагм и траверс, рис. 8.4.

После принятия размеров диалоговое окно выбора базы колонны и исполнения принимает вид, показанный на рис. 8.5.

По результатам проектирования опоры можно создать отчет в формате Word, в котором приводятся все требуемые вычисления и обосновываются автоматически принятые размеры.

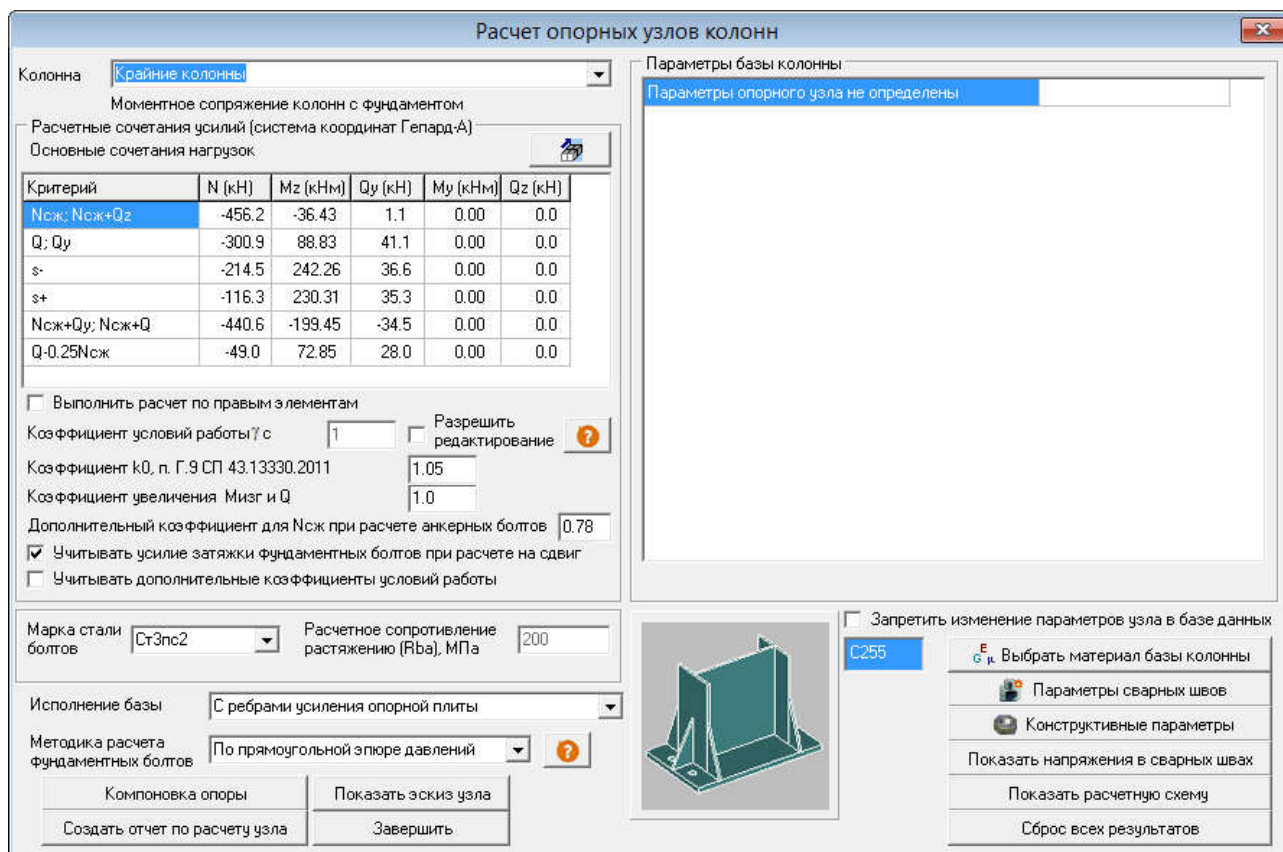


Рис. 8. 1

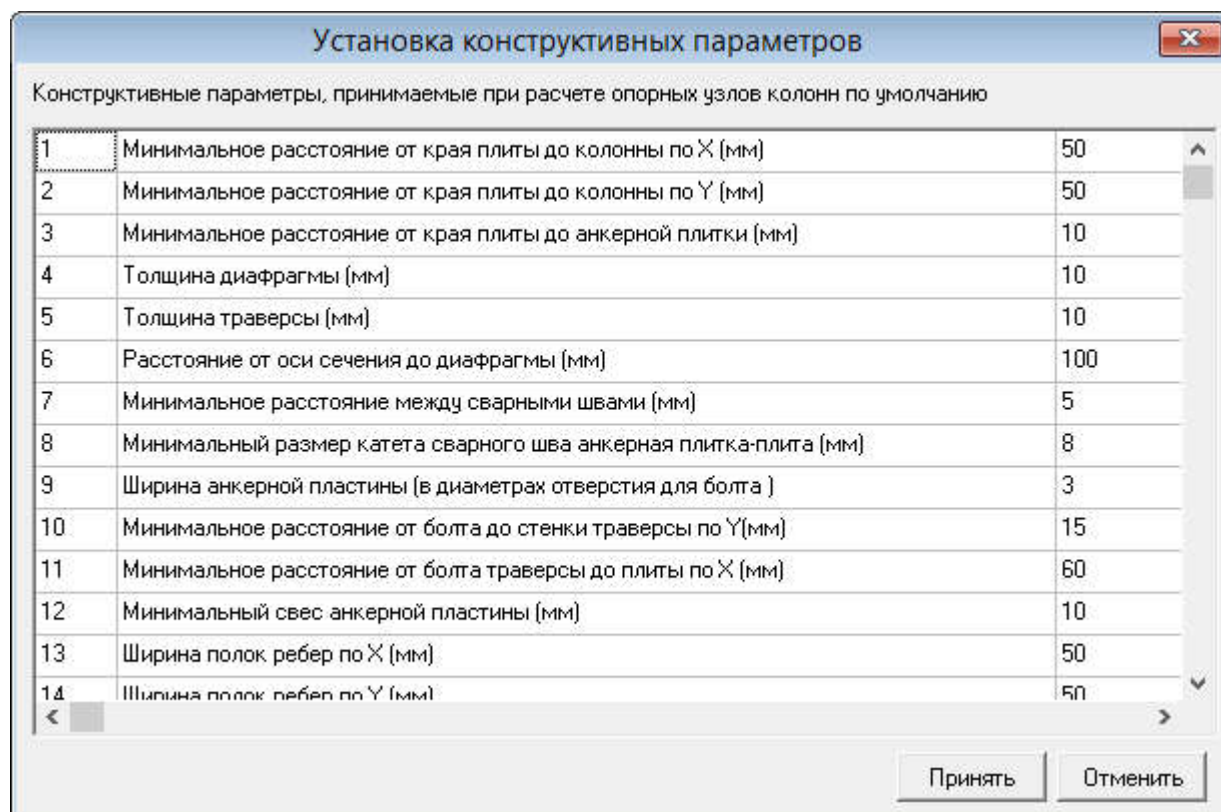


Рис. 8. 2

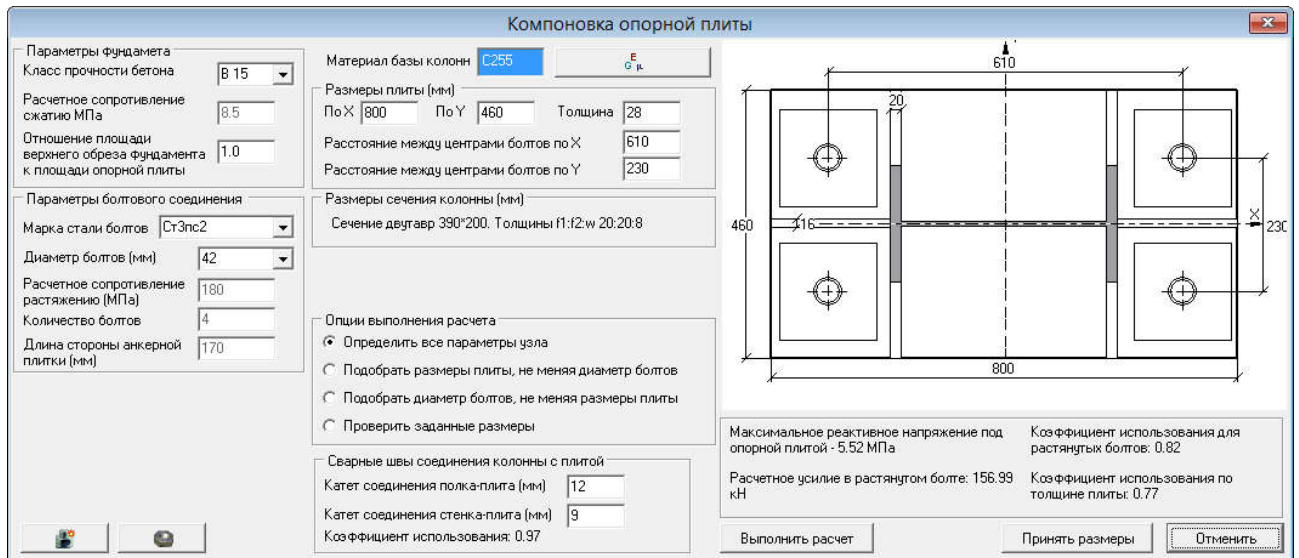


Рис. 8. 3

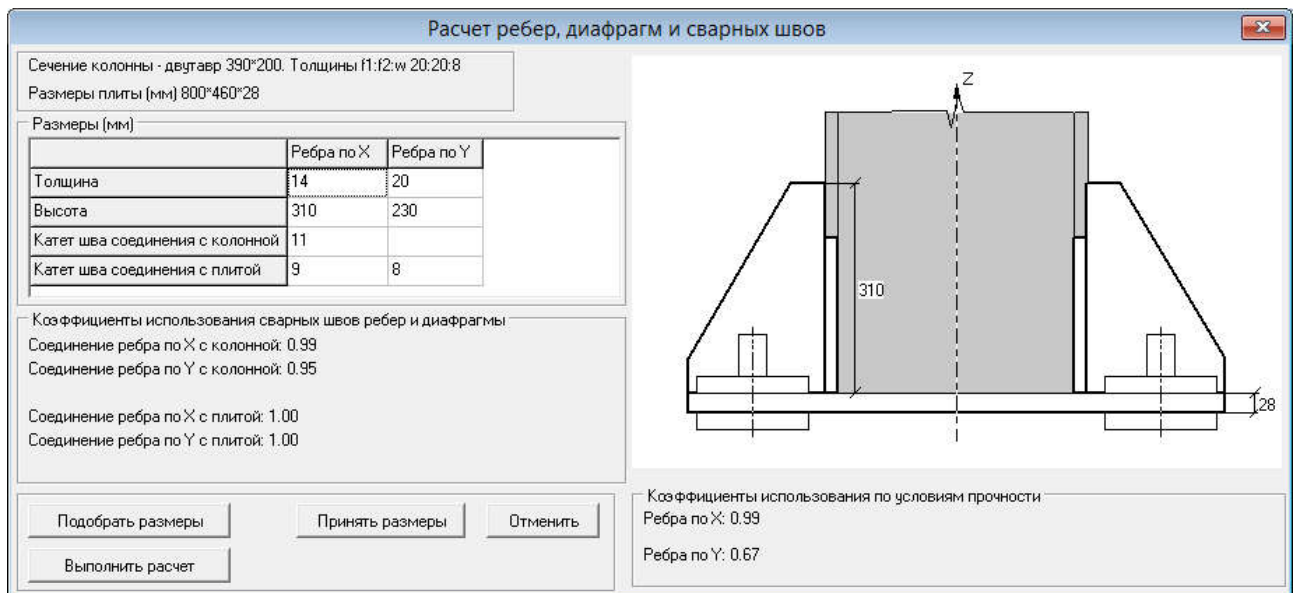
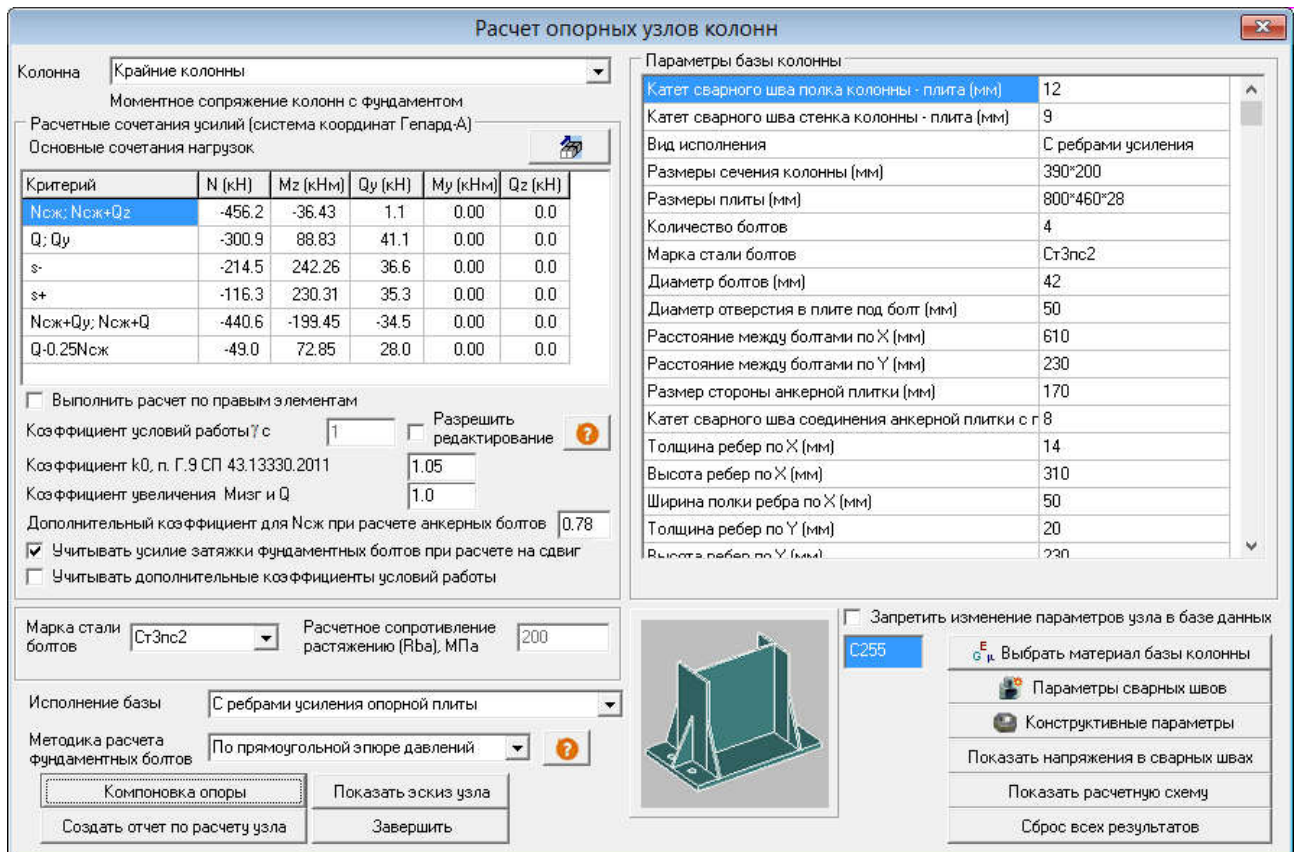


Рис. 8. 4



8.2. Проектирование фланцевых узлов

Рассматриваются четыре вида фланцевых узлов:

- Косой стык ригеля с колонной;
- Горизонтальный стык ригеля с колонной;
- Промежуточные фланцевые стыки ригелей;
- Коньковый стык ригелей.

При первом обращении к команде **Проектирование** ⇒ **Расчет фланцевых узлов** в диалоговом окне, рис. 8.6, потребуется выбрать сечения, в которых будут расположены соединения.

Диалоговое выбора соединения показано на рис. 8.7.

Кнопка **Конструктивные параметры** обеспечивает доступ к просмотру и изменению параметров, назначаемых по умолчанию.

Кнопка  позволяет переключаться между сочетаниями нагрузок.

Кнопка **Компоновка узла** позволяет получить приемлемый вариант фланцевого соединения, рис. 8.8.

После принятия размеров диалоговое выбора соединения принимает вид, показанный на рис. 8.9.

По результатам проектирования узла можно создать отчет в формате Word.

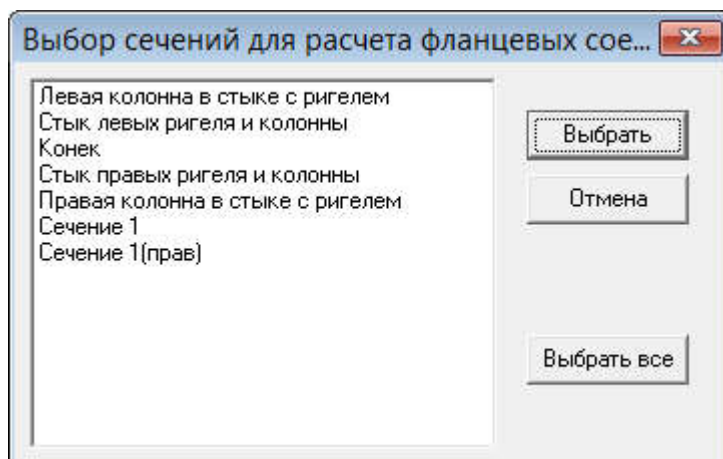


Рис. 8. 6

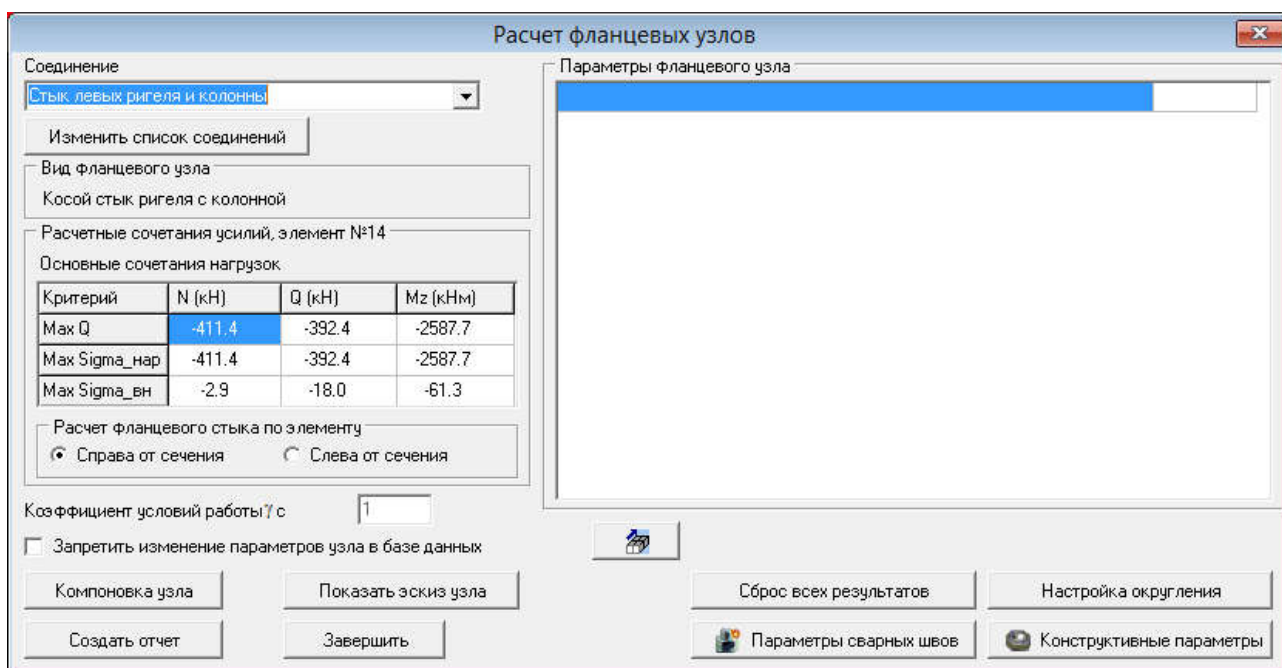


Рис. 8. 7

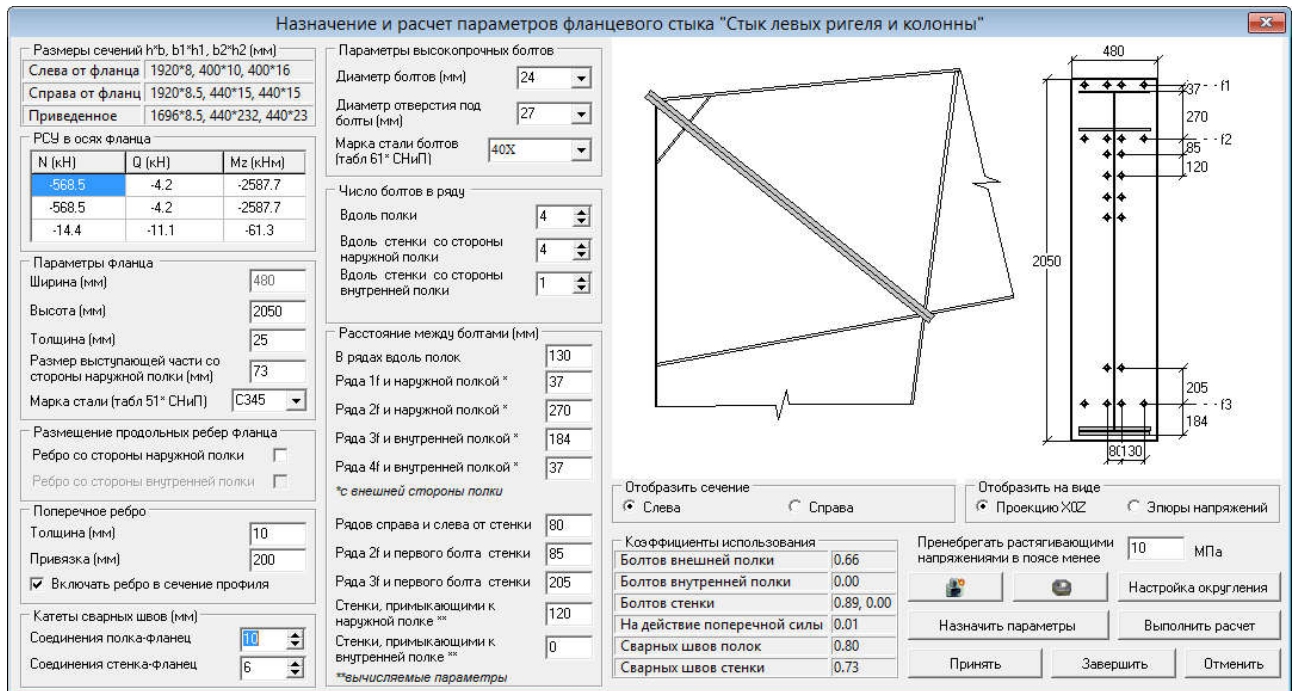


Рис. 8. 8

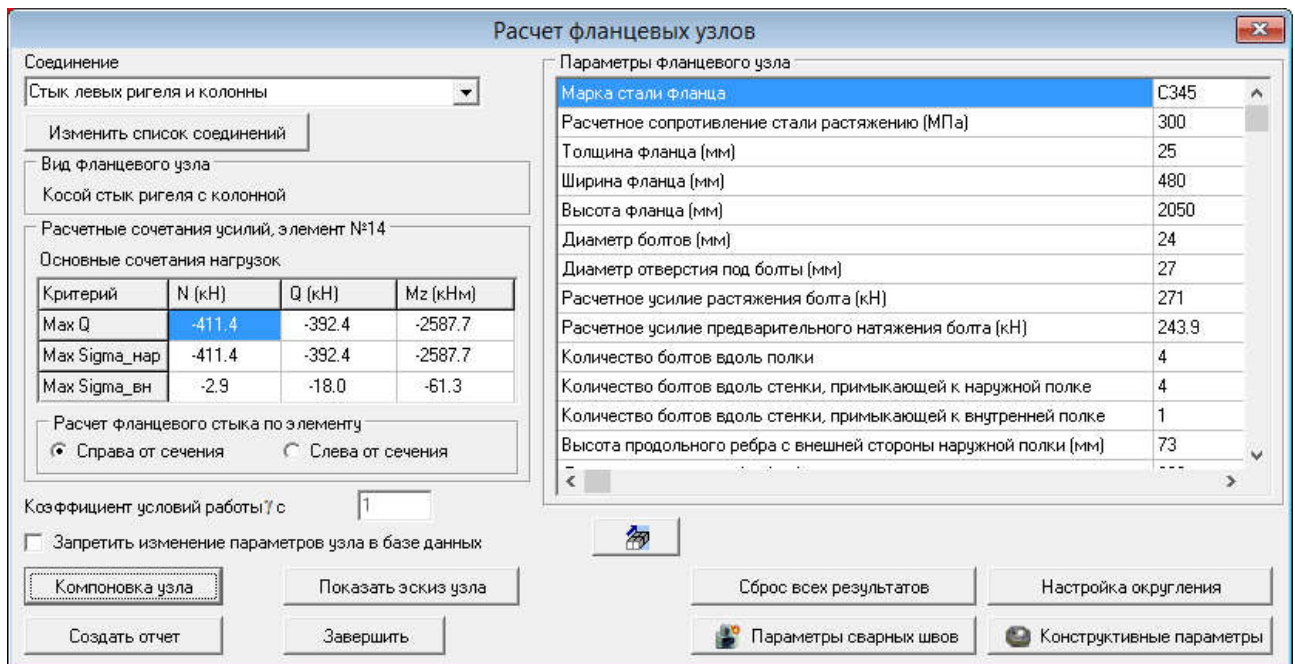


Рис. 8. 9

8.3. Проектирование узлов шарнирного опирания ригелей на колонны

В команде **Проектирование** \Rightarrow **Расчет узлов шарнирного опирания на колонны** рассматривается три вида опирания:

- На крайнюю колонну сверху;
- На центральную или промежуточную колонну сверху;
- На крайнюю колонну сбоку.

Диалоговое выбора узла показано на рис. 8.10.

Кнопка **Конструктивные параметры** обеспечивает доступ к просмотру и изменению параметров, назначаемых по умолчанию.



Кнопка **Компоновка узла** позволяет переключаться между сочетаниями нагрузок.

Кнопка **Компоновка узла** позволяет получить приемлемый вариант узла, рис. 8.11.

После принятия размеров диалоговое выбора соединения принимает вид, показанный на рис. 8.12.

По результатам проектирования узла можно создать отчет в формате Word.

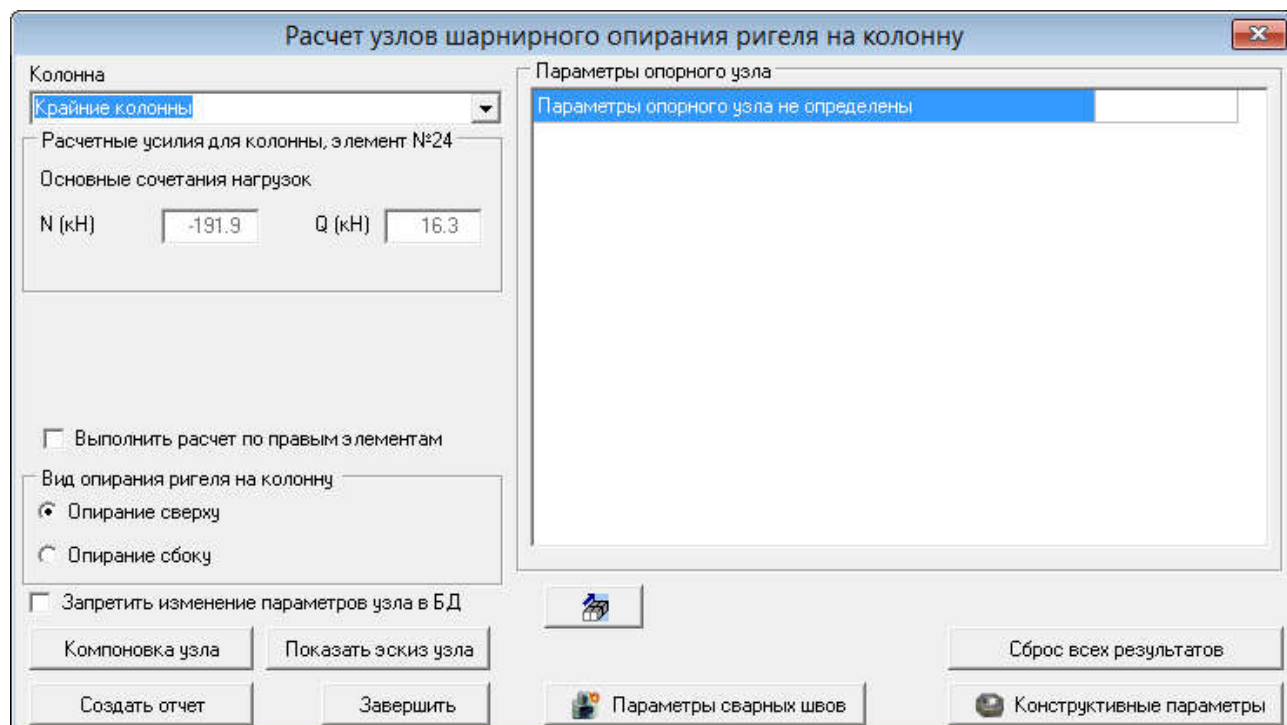


Рис. 8. 10

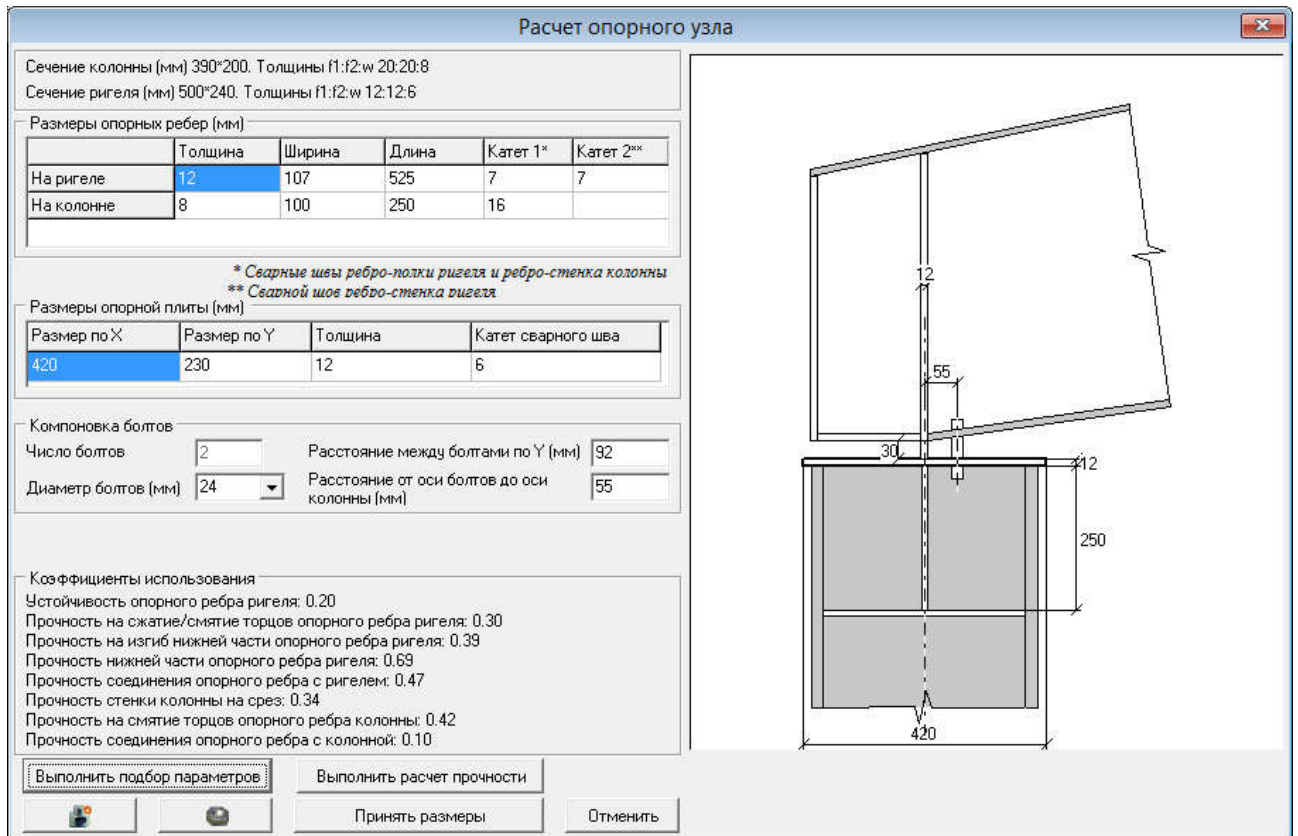


Рис. 8.11

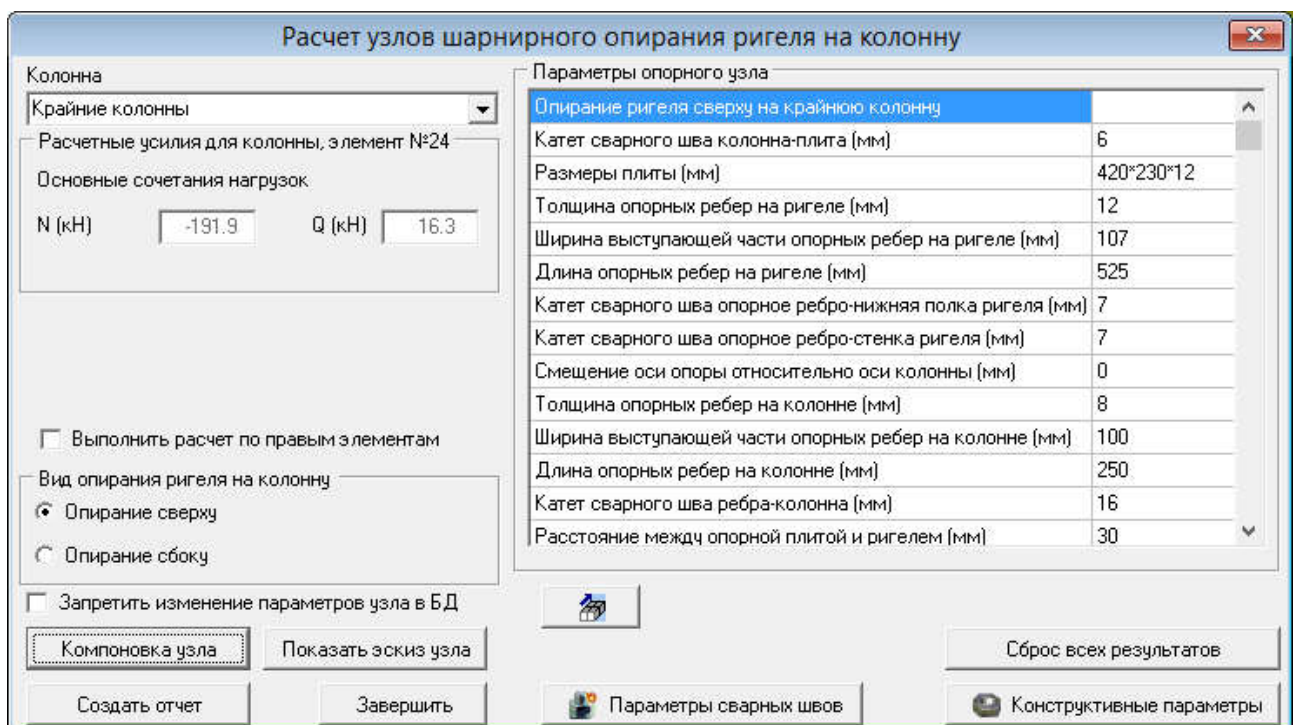


Рис. 8.12

8.4. Расчет подкрановых консолей

Диалоговое команды **Проектирование** ⇒ **Расчет подкрановых консолей** показано на рис. 8.13.

Кнопка **Компоновка узла** позволяет получить приемлемый вариант подкрановой консоли, рис. 8.14.

После принятия размеров диалоговое команды принимает вид, показанный на рис. 8.15. По результатам проектирования узла можно получить отчет в формате Word.

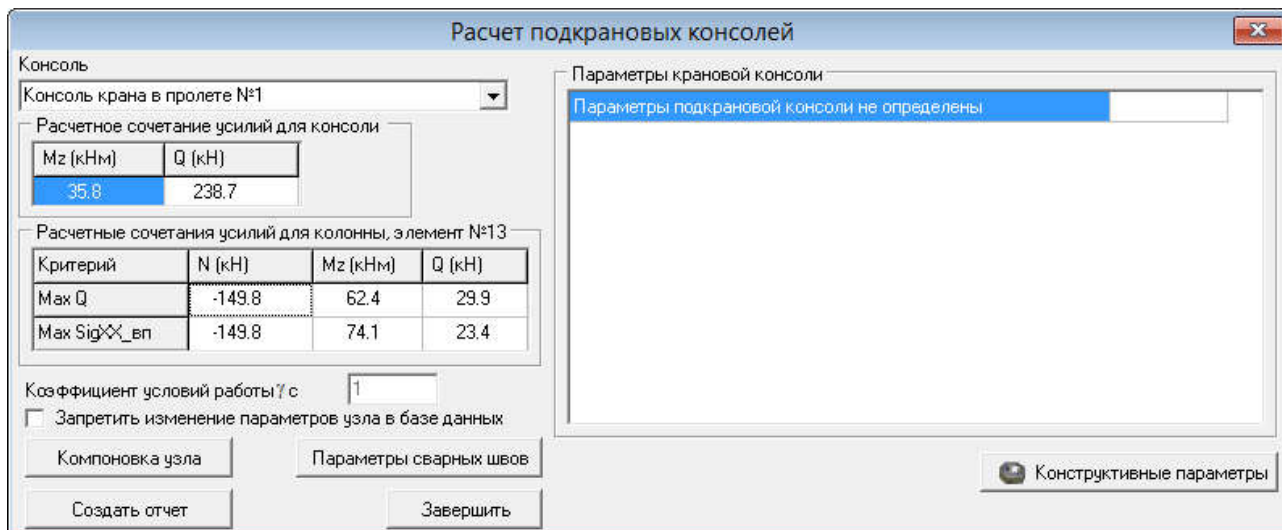


Рис. 8.13

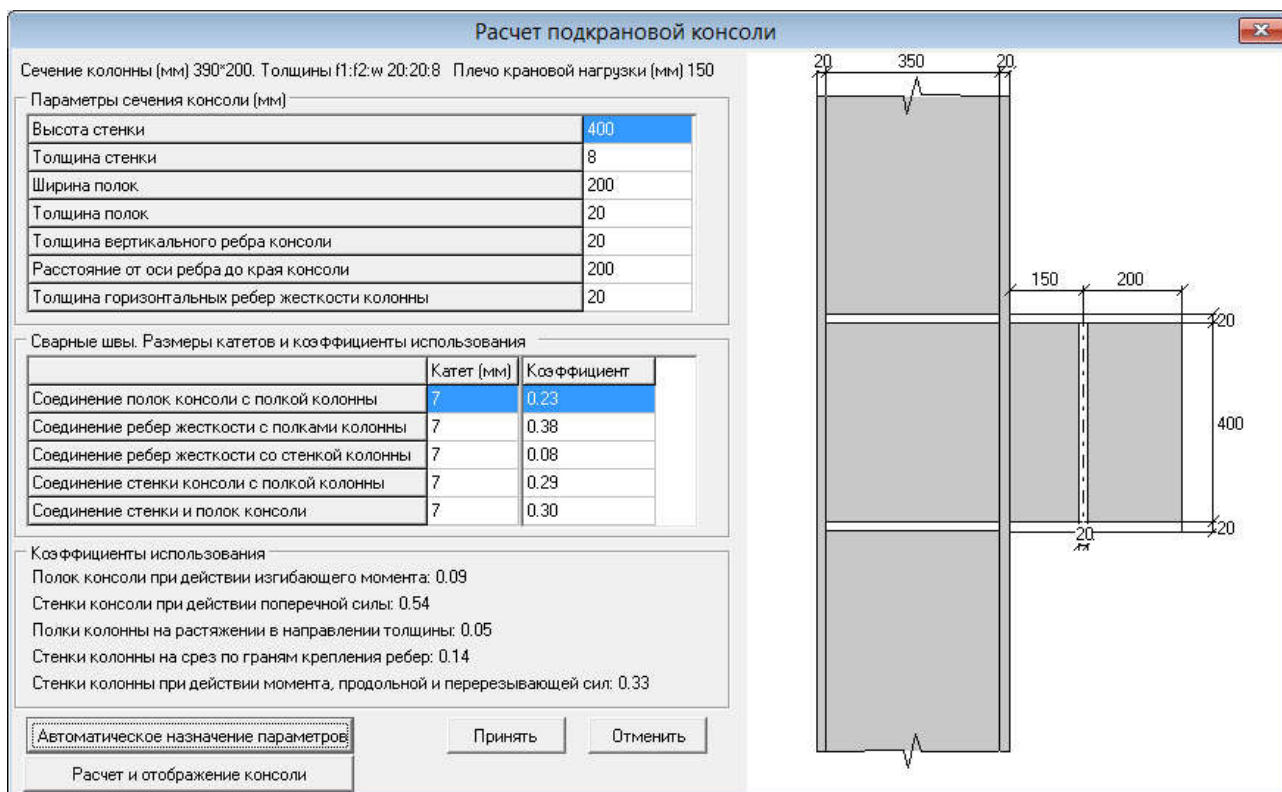


Рис. 8.14

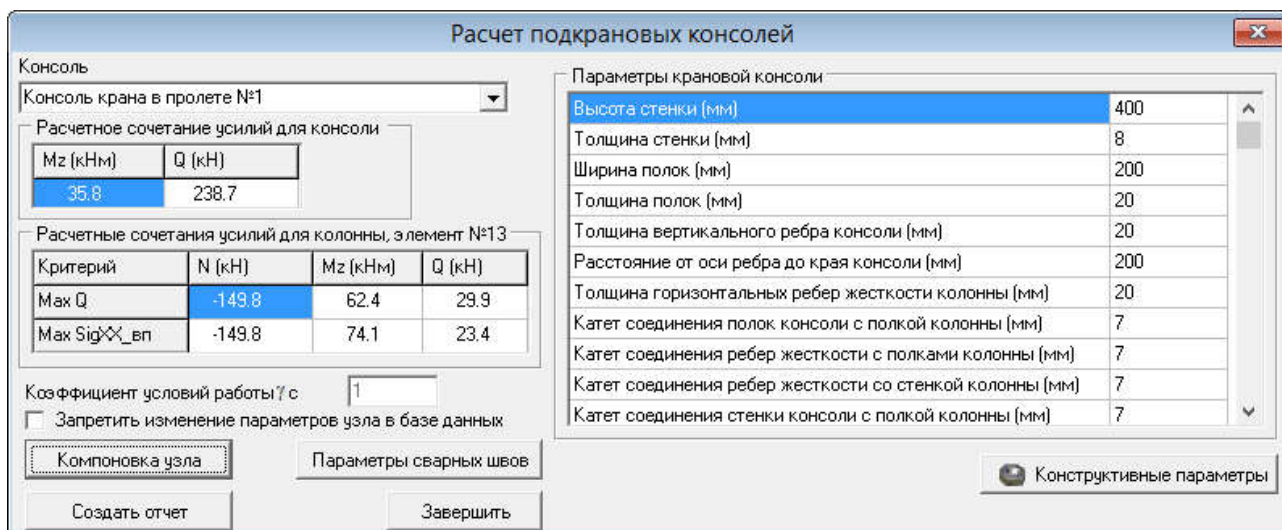


Рис. 8. 15

8.5. Формирование таблиц нагрузок на фундаменты

При выполнении команды **Проектирование** ⇒ **Формирование таблиц нагрузок на фундаменты** в диалоговом окне, рис. 8.16, выбирается колонна и создается отчет по нагрузкам в форме таблицы. Поскольку обычно нагрузки на фундаменты создаются на ранних этапах проектирования, для учета возможного увеличения нагрузки на раму можно задать коэффициент увеличения момента и перерезывающей силы.

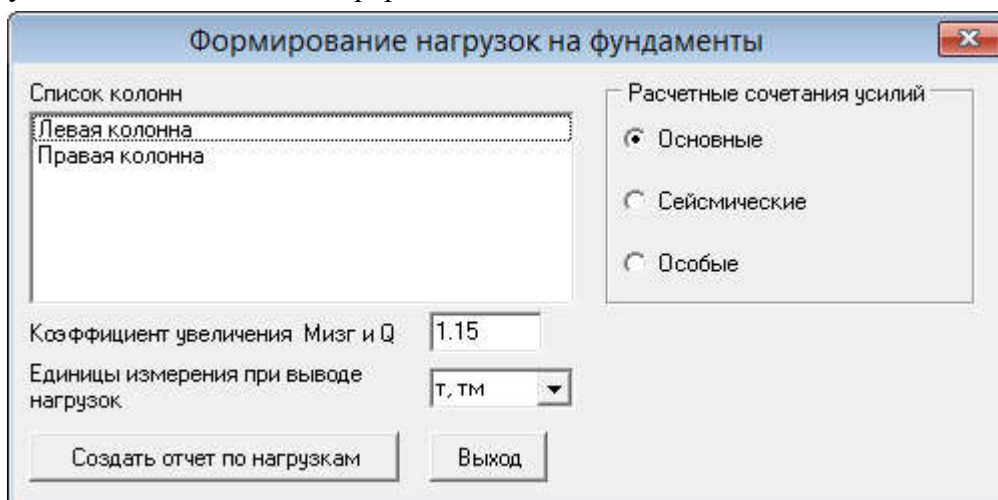


Рис. 8. 16

9. Модификация объектов модели

Меню **Модификация** содержит команды, позволяющие редактировать параметры различных объектов модели.

Команды первой группы: **Редактировать общую геометрию рамы, Точки, Линии, конструктивные элементы** обеспечивают редактирование общей геометрии. При этом в силу параметризации, целостность модели не нарушается, но происходит ее автоматическая перестройка. В том числе автоматически переполучаются нагрузки.

Команды второй группы могут быть применены только к объектам рам произвольного типа и используются при построении геометрической модели.

Команды копирования и перемещения имеют похожее начальное диалоговое окно, см. рис. 9.1.

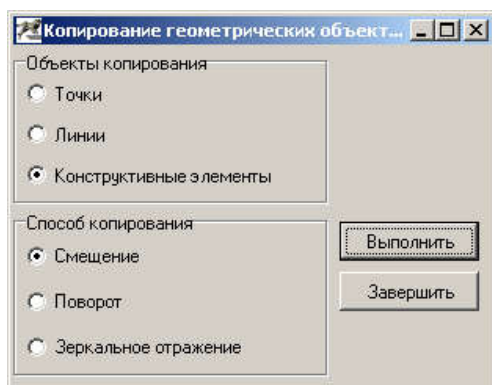
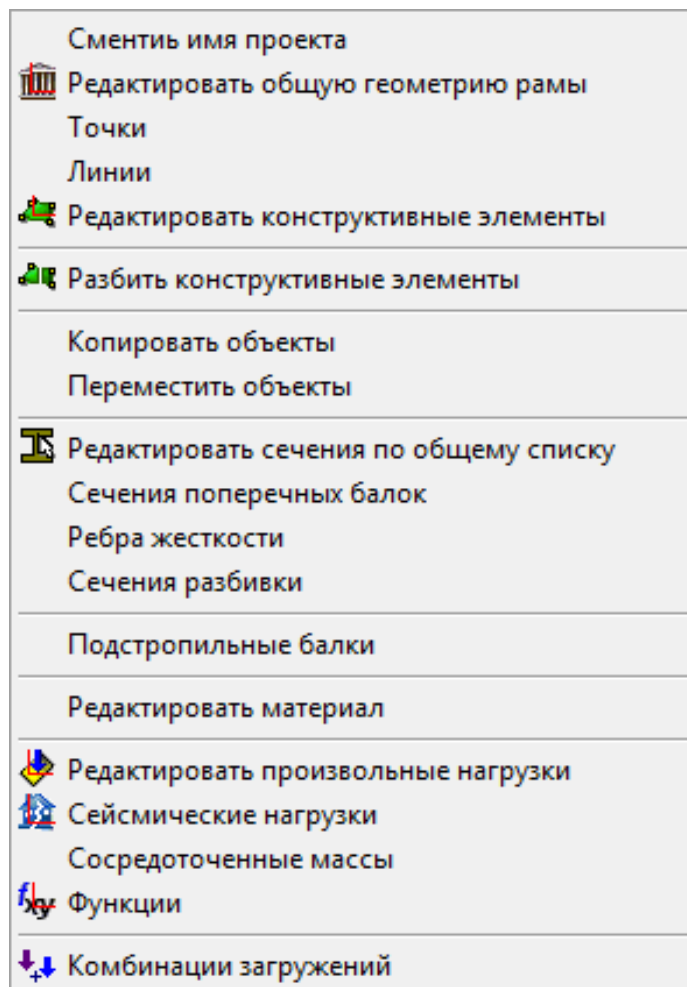


Рис. 9.1

Команда **Редактировать сечения по общему списку** имеет диалоговое окно, показанное на рис. 9.2. С помощью кнопки **Унифицировать сечения** можно всем сечениям рамы назначить параметры выбранного сечения. Кнопка **Копировать** используется для копирования в поля размеров сечения данных другого сечения.



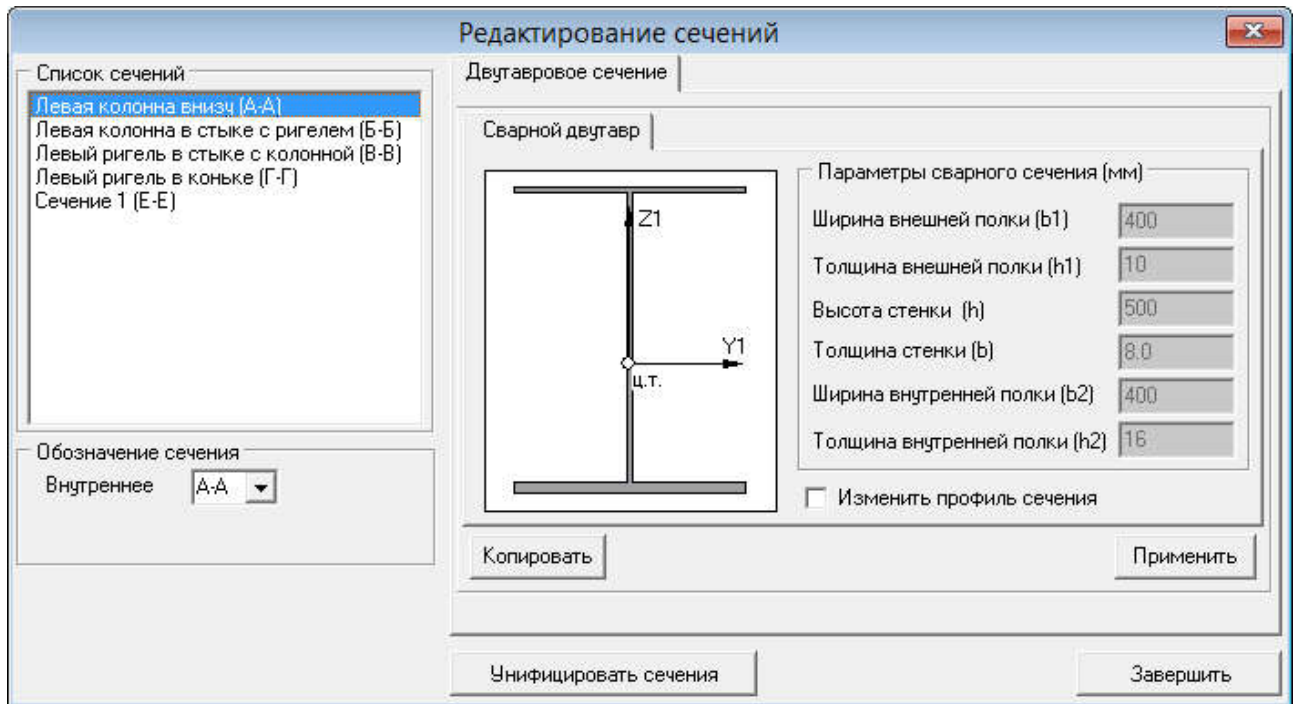
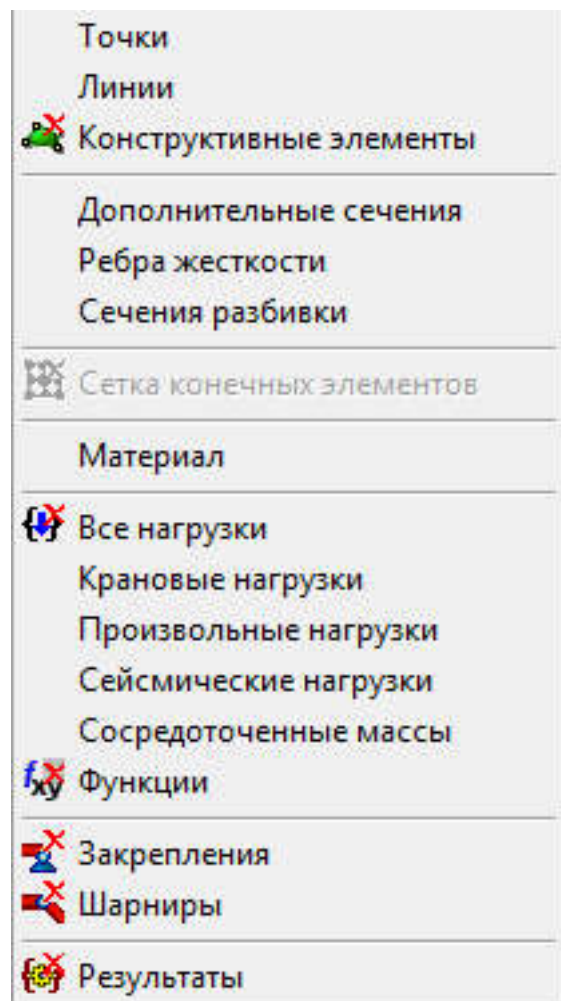


Рис. 9. 2

10. Удаление объектов модели

Меню **Удалить** содержит команды, позволяющие удалять различные объекты модели. При этом обеспечивается целостность данных.

После удаления объектов модель автоматически перестраивается, в том числе по заданным загрузкам заново формируются приложенные нагрузки.



11. Управление выводом графической информации

Команды меню **Вид** позволяют управлять отображением модели в графическом окне.

Команды меню **Вид** ⇒ **Показать** позволяют посмотреть расположение дополнительных сечений, ребер жесткости и сечений разбивки на геометрической модели.

11.1. Управление отображением результатов

Команда **Вид** ⇒ **Отображение результатов** (F5) используется для задания режимов отображения результатов в графическом окне, рис. 11.1. Кнопки, дублирующие опции этой команды расположены на панели команд справа от графического окна, а также в диалоговых окнах команды проверки прочности и команд подбора сечений.

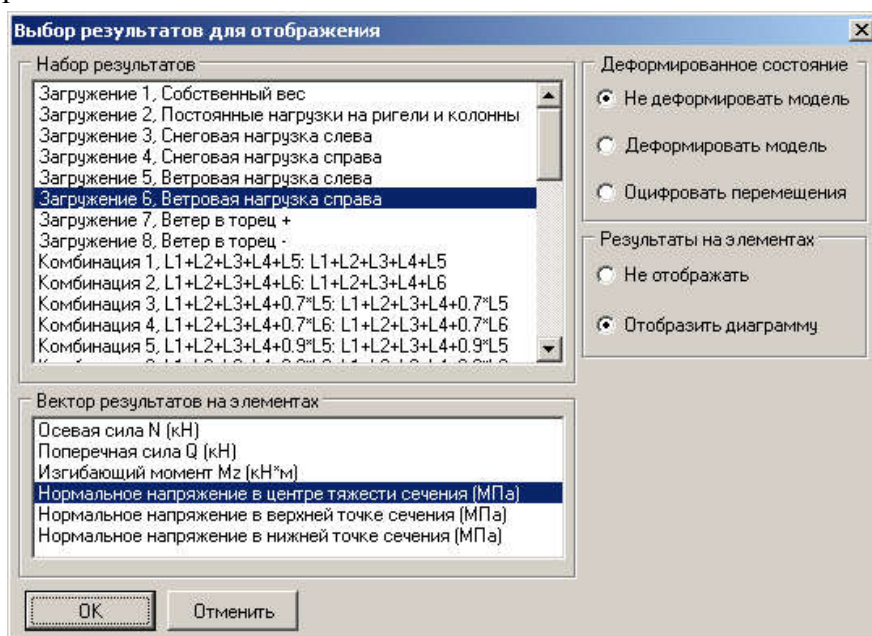
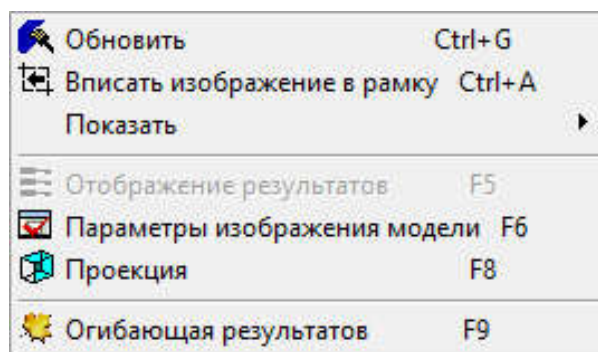


Рис.10. 1

11.2. Управление отображением модели

Команда **Вид** ⇒ **Параметры Изображения** (F6) используется для задания режимов отображения различных объектов, рис. 7.2. Для выбранного в списке объекта может быть определена опция **Рисовать объект**, назначены способы отображения, например отображение его номера, и выбран цвет объекта. Изображение изменяется после нажатия кнопки **Применить**.

В этой команде также можно управлять цветом фона и отображением толщины полок и стенок двутавровых сечений (опция **Отображать толщину профиля**).

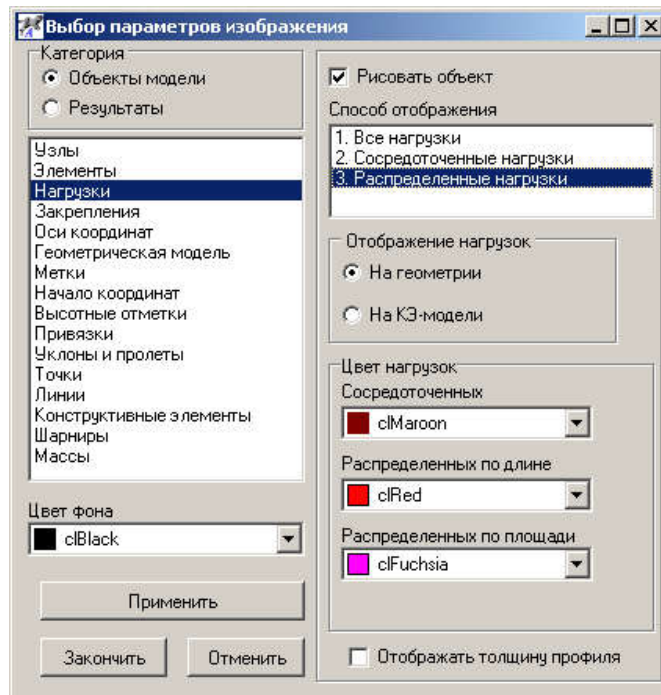


Рис.11. 2. Диалоговое окно задания параметров изображения объектов модели

12. Вывод информации о модели в текстовом виде

Команды меню **Вывод**, рис. 12.1, позволяют автоматически сформировать отчеты в MS Word, а также вывести информацию о модели и результатах расчета в текстовом виде в окне сообщений и/или в текстовый файл. Для того чтобы назначить вывод в текстовый файл, нужно выполнить команду **Вывод ⇒ Назначение вывода**, в диалоговом окне которой, рис. 12.3, назначается имя текстового файла. Если текстовый файл был назначен, то после окончания вывода следует выключить опцию **Текстовый файл** для того, чтобы этот файл можно было использовать.

При выводе **результатов проверок**, требуемый пункт выбирается в подменю, рис. 12.2.

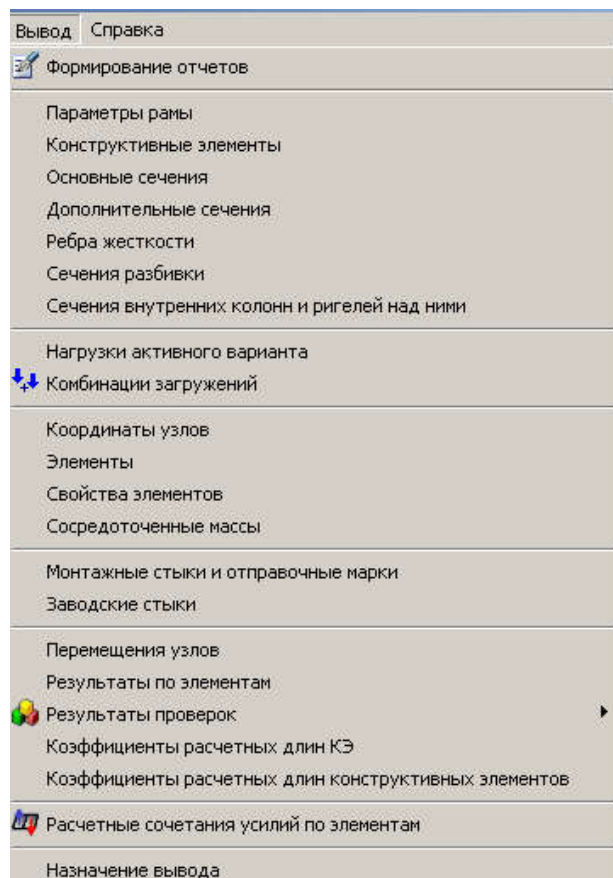


Рис.12. 1. Меню **Вывод**

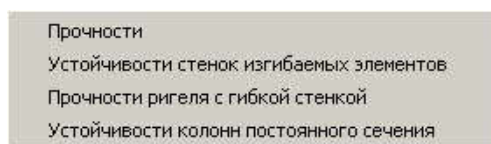


Рис.12. 2. Подменю вывода результатов проверок

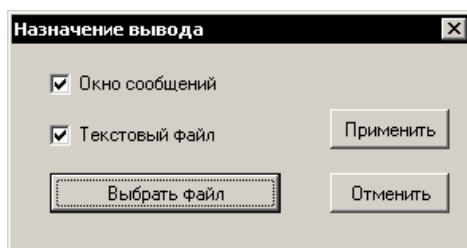


Рис.12. 3. Диалоговое окно назначения вывода

Командой **Вывод** \Rightarrow **Формирование отчетов** могут быть получены отчеты в двух формах – в форме исходных данных и в форме отчета по результатам проверок. Диалоговое окно команды показано на рис. 11.4.

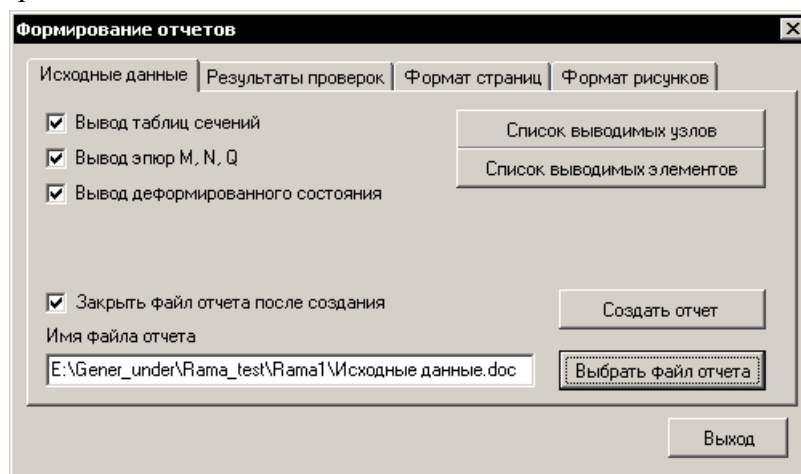


Рис.12. 4. Диалоговое окно формированию отчета по исходным данным

13. Решение задач в Гепард-А

13.1. Построение расчетной модели рамы и ее экспорт в SCAD

Рассмотрим пример построения расчетной модели однопролетной, одноконьковой симметричной рамы с шарнирным опиранием колонн на фундамент.

Основные геометрические параметры рамы:

- пролет 36 м;
- отметка внутренней точки стыка ригеля с колонной (отметка верха колонны) 7.2 м;
- отметка низа колонны -0.3 м;
- уклон ригеля 10%;
- параметры сечений низа колонн, стыка ригеля с колоннами, ригеля в коньке и сечения на ригеле на расстоянии 12 м от края колонны заданы;

Данные для сбора нагрузок:

- расчетные значения постоянной равномерно распределенной нагрузки на ригели и колонны: 1 кН/м² и 0.6 кН/м² соответственно;
- ветровой район РФ и тип местности: III и А соответственно;
- снеговой район РФ: V;
- средняя температура января -15° С;
- грузовая ширина (размер вдоль оси Y на котором собираются нагрузки, действующие на раму) 6 м;
- длина здания 52 м.

Создание расчетной модели

1. Создаем новый проект командой **Файл ⇒ Новая схема**. Заполняем поле **Название проекта**, остальные поля и опции оставляем по умолчанию, рис. 13.1.

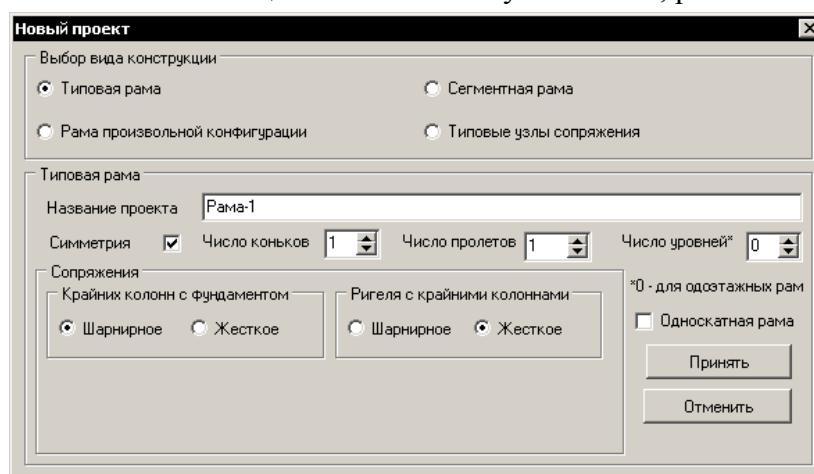


Рис. 13.1

2. После нажатия кнопки **Принять** появляется панель задания основных геометрических параметров, рис. 13.2. Заполняем поля **Грузовая ширина**, **Отметка низа колонны**, **Отметка верха колонны** и **Уклон ригеля**. Все размеры задаются в *миллиметрах*.
3. Шарниры и крепления на раме будут создаваться автоматически, если соответствующие опции будут включены.

4. Продолжаем построение расчетной модели нажатием кнопки **Геометрия пролетов**. На панели Задание параметров пролетов, рис. 13.3, задаем размер единственного пролета – 36000 мм и нажимаем кнопку **Принять**.

Геометрия рамы - Однопролетная рама. Моментное сопряжение ригеля с колоннами

Название проекта: Рама-1

Симметрия: Число пролетов: 1 Пролет (мм): 0 Грузовая ширина (мм): 6000

Геометрия крайних колонн и ригелей

	Левые	Правые
Привязка колонн относительно разбивочных осей (мм)	0	0
Отметка низа колонны (мм)	-300	0
Отметка верха колонны (мм)	7200	0
Уклон ригеля (%)	10	0.00
Уклон ригеля (град)	5.71	0.00
Уклон колонны (%)	0.00	0.00

Кнопки: Геометрия пролетов, Типы профилей, Геометрия базовых сечений

Автоматически расставить шарниры
 Автоматически назначить закрепления

Коэффициент надежности по ответственности согласно ГОСТ 27751-88: Надежность строительных конструкций γ_n 1

Кнопки: Принять, Отменить

Рис. 13.2

Задание параметров пролетов

Номер пролета	Привязка левой оси пролета (мм)	Размер пролета (мм)
1	0	36000

< Рама симметрична >

Кнопки: Принять, Отменить

Рис. 13.3

5. Следующее действие – задание типов профилей рамы. Профиль конструктивного элемента рамы может быть либо составным (сварным), либо стандартным прокатным сечением. Предполагается, что ригели и колонны рамы данного типа имеют переменное сечение составного типа. Нажимаем кнопку **Типы профилей**, и на одноименной панели, рис. 13.4, нажимаем кнопку **Принять**, возвращаясь на панель **Геометрия рамы**, рис. 13.5.
6. Последнее действие по созданию геометрической модели рамы – задание параметров базовых сечений, производится нажатием кнопки **Геометрия базовых сечений**. При нажатии кнопки появляется панель, предупреждающая о необходимости задания материала рамы, рис. 13.6.

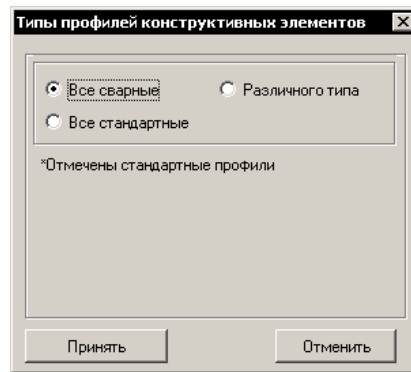


Рис. 13.4

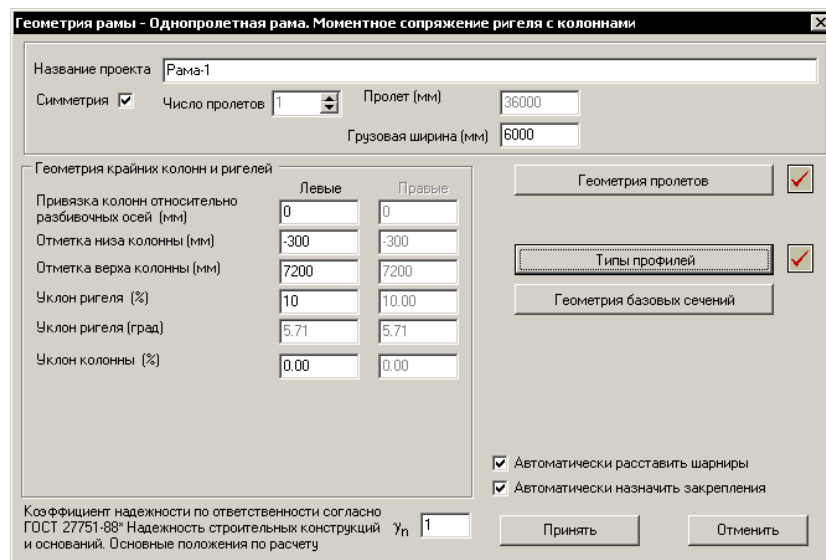


Рис. 13.5

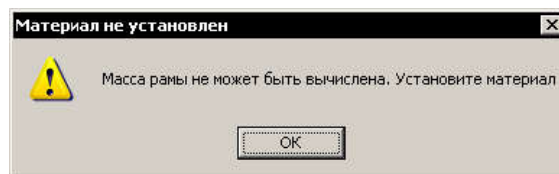


Рис. 13.6

7. Материал рамы выбираем из списка марок сталей, рис. 13.7. Выбираем заданный материал – сталь С245, после чего все параметры материала устанавливаются автоматически. Нажимаем кнопку **Применить** и переходим к заданию базовых сечений рамы.
8. На экране появляется макет геометрии рамы, и панель задания базовых сечений, рис. 13.8. Для симметричной рамы данного типа задается четыре базовых сечения, которые выбираются из списка. При выборе сечения на макете рамы показывается его положение.
9. Зададим параметры сечения левой колонны внизу, заполнив соответствующие поля, рис. 13.9 и нажмем кнопку **Применить**. При этом появится панель с предупреждением, о том, что предусмотренные автоматические проверки не выполняются, рис. 13.10. Макет сечения рамы изменится, рис. 13.10.
10. Зададим параметры сечения левой колонны в стыке с ригелем. Поскольку это сечение отличается от предыдущего только высотой стенки, его можно задать, нажав кнопку Копировать, затем выбрать из списка сечений Сечение левой колонны внизу и изме-

нить высоту стенки, рис. 13.11. При нажатии кнопки применить появляется панель с сообщением, что толщина стенки должна быть увеличена, которое пока можно игнорировать, рис. 13.12.

- Аналогично задается сечение левого ригеля в стыке с колонной, рис. 13.13, и сечение ригеля в коньке, рис. 13.15. Диагностические сообщения, рис. 13.14, также пока можно игнорировать. После задание всех базовых сечений нажимаем кнопку **Завершить**. Геометрическая модель отображается в графическом окне, рис. 13.16.

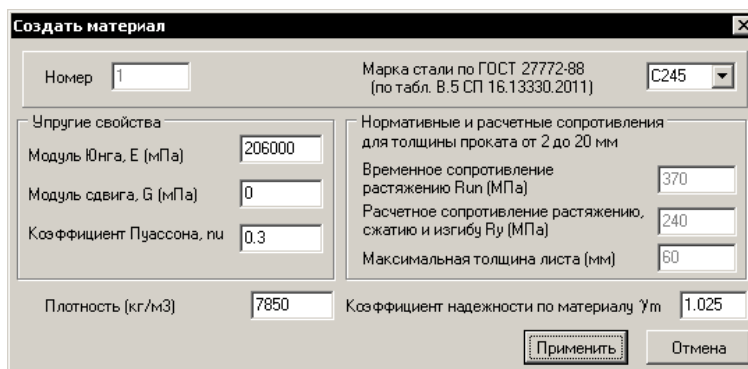


Рис. 13. 7

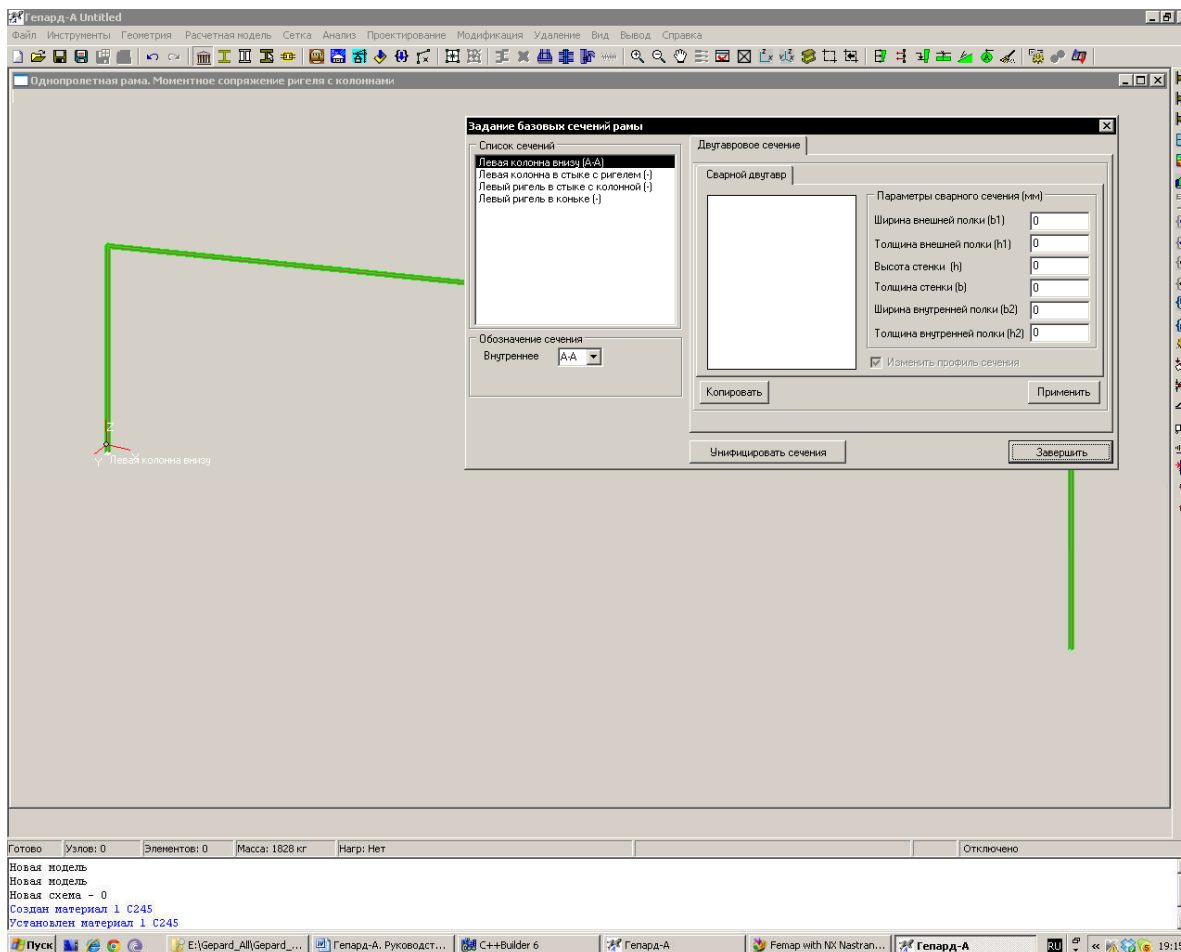


Рис. 13. 8

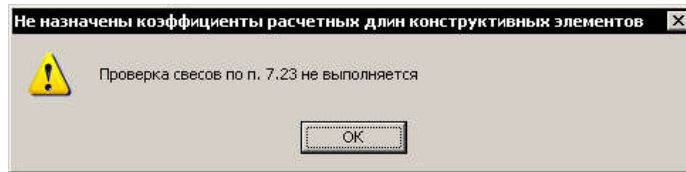


Рис. 13.9

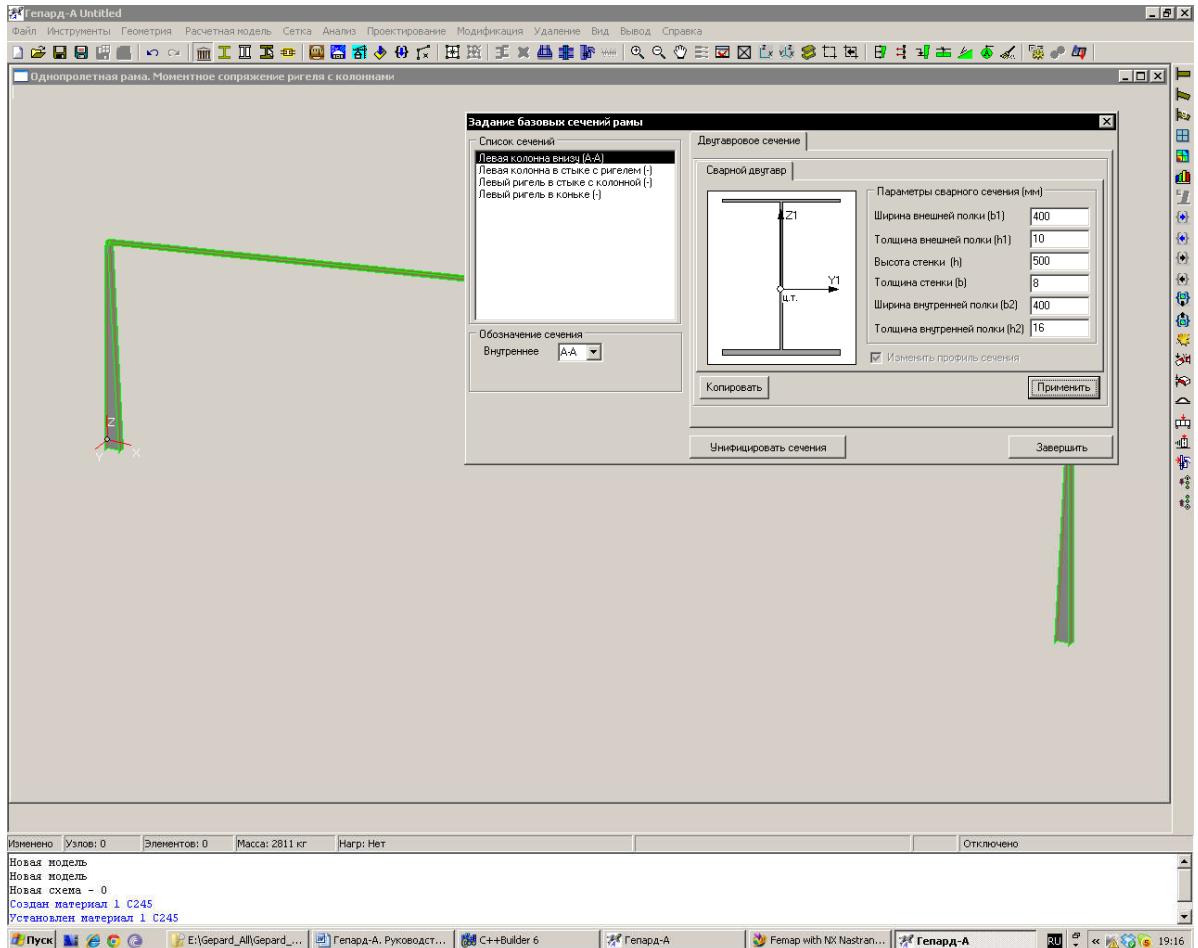


Рис. 13.10

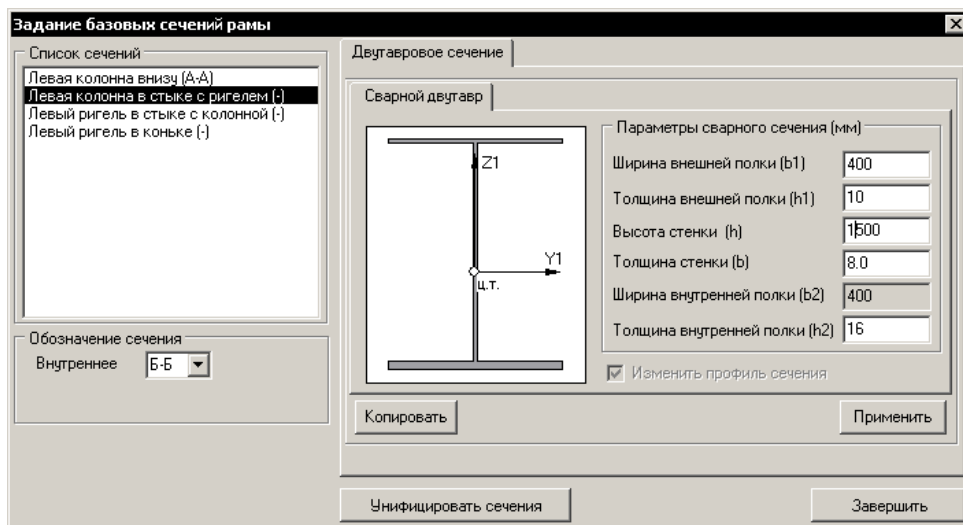


Рис. 13.11

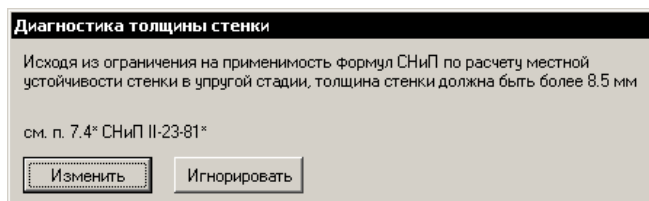


Рис. 13. 12

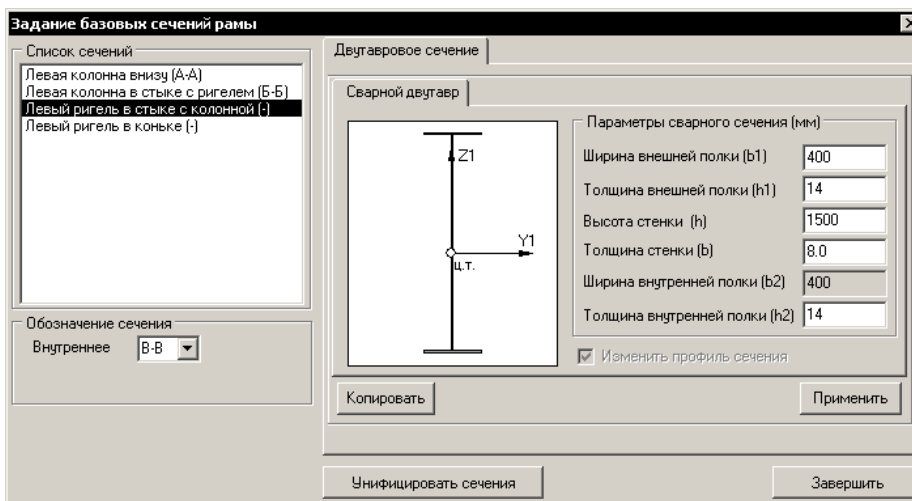


Рис. 13. 13

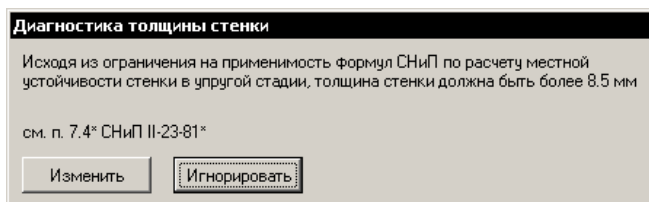


Рис. 13. 14

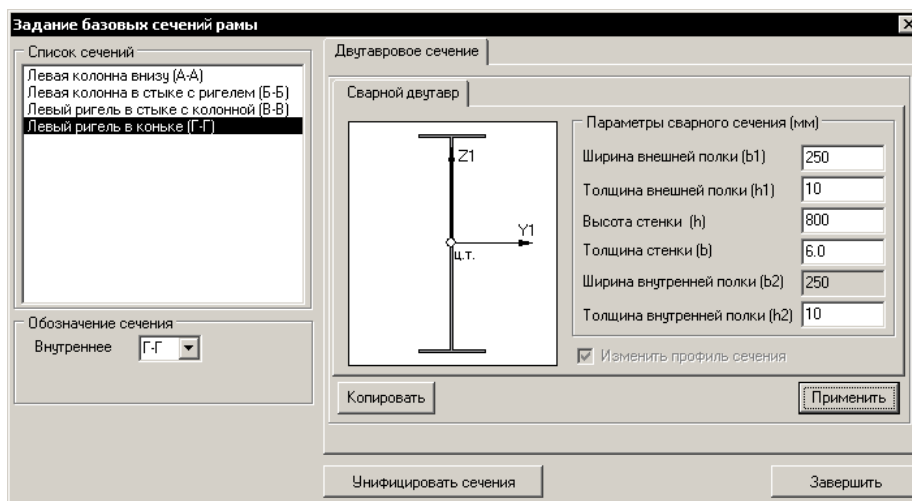


Рис. 13. 15



Рис. 13. 16

12. Создание дополнительных сечений. Сейчас сечение ригеля рамы от колонны до конька имеет ширину и толщину полок такую же, как у сечения ригеля в стыке с колонной, а высота стенки линейно изменяется по длине ригеля от сечения по колонне до конька. В точки привязки 12 м необходимо создать сечение, которое будет иметь такие же параметры, как сечение ригеля в коньке. Для этого выполним команду **Геометрия** ⇒ **Дополнительные сечения**. На вкладке **Расположение** выберем опцию **Ригель** и кнопкой **Копировать** скопируем сечение ригеля в коньке. В поле **Привязка** зададим значение 12000 мм, рис. 13.17. Нажмем кнопку **Применить**, а затем **Завершить**.

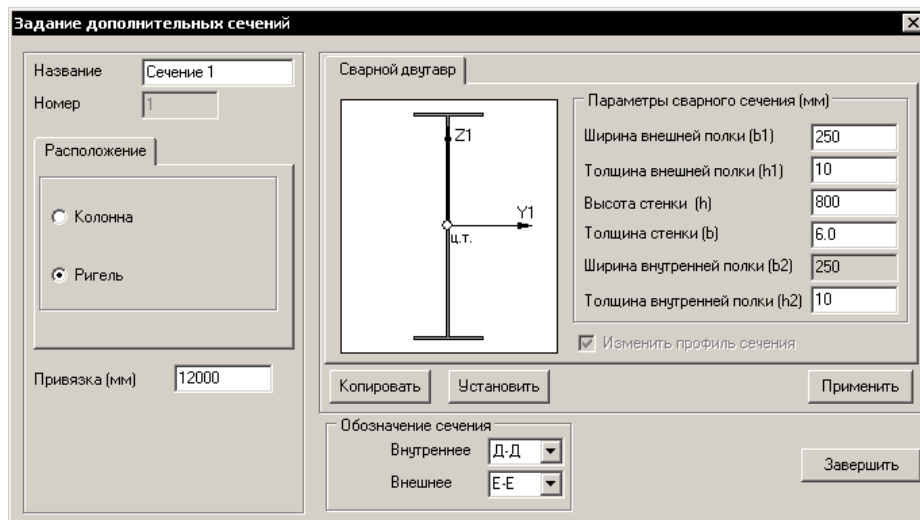


Рис. 13. 17

13. Создадим типовые загрузки. Для этого выполним команду **Расчетная модель** ⇒ **Типовые нагрузки**, рис 13.18. На панели **Нагрузки и воздействия** выберем опцию **СП 20.13330.2011**.

14. Коэффициент весовой нагрузки 1.3 учитывает вес прогонов, ребер, крепежа и т.п. После нажатия кнопки **Создать** переходим к следующему шагу - вкладке **Необходимые размеры**. Заносим в поля требуемые размеры, рис. 13.19, и нажимаем кнопку **Выполнить**.
15. Следующий шаг – создание постоянных нагрузок на ригели и колонны, рис. 13.20.
16. Шаг 4 – создание ветровых загрузений. В соответствии с СП 20.13330.2011 таких загрузений четыре: ветер слева и ветер справа, ветер в торец в положительном и отрицательном направлении оси Y (ветер в торец+ и ветер в торец-). По умолчанию ветровые нагрузки создаются с учетом пульсационной составляющей, рис. 13.21. Величина δ_N необходима для вычисления полной высоты здания с учетом прогонов и перекрытий.
17. Шаг 5 – создание снеговых загрузений. В соответствии с СП 20.13330.2011 таких загрузений два: снег на левый и снег на правый ригель, рис. 13.22. При создании снеговых загрузений требуется подтвердить коэффициент снижения нагрузок, т.к. средняя температура января задана -15°C , рис. 13.23. После создания снеговых загрузений нажимаем кнопку **Завершить**. Типовые загрузения созданы, рис. 13.24.

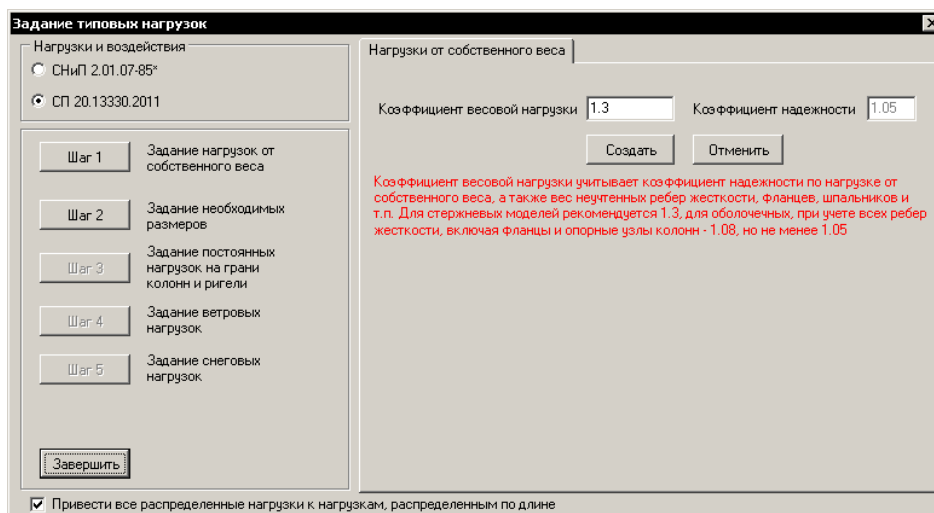


Рис. 13. 18

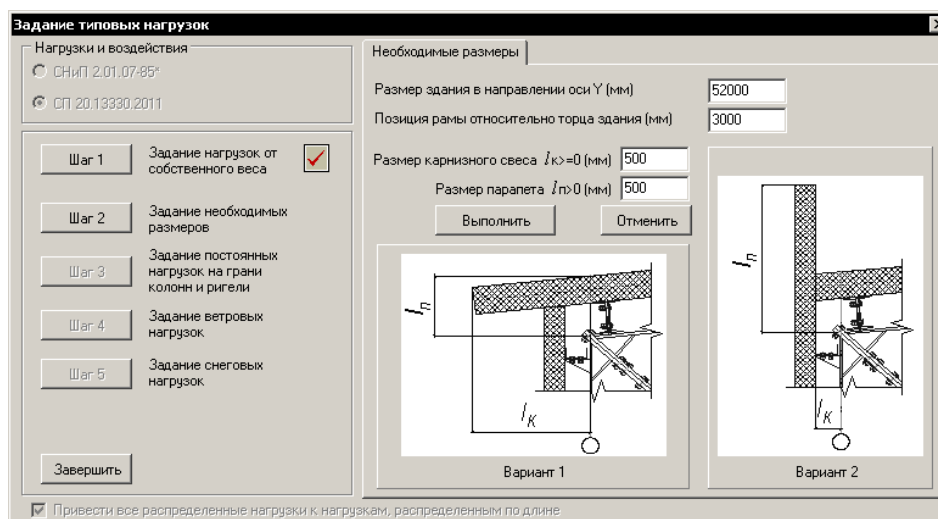


Рис. 13. 19

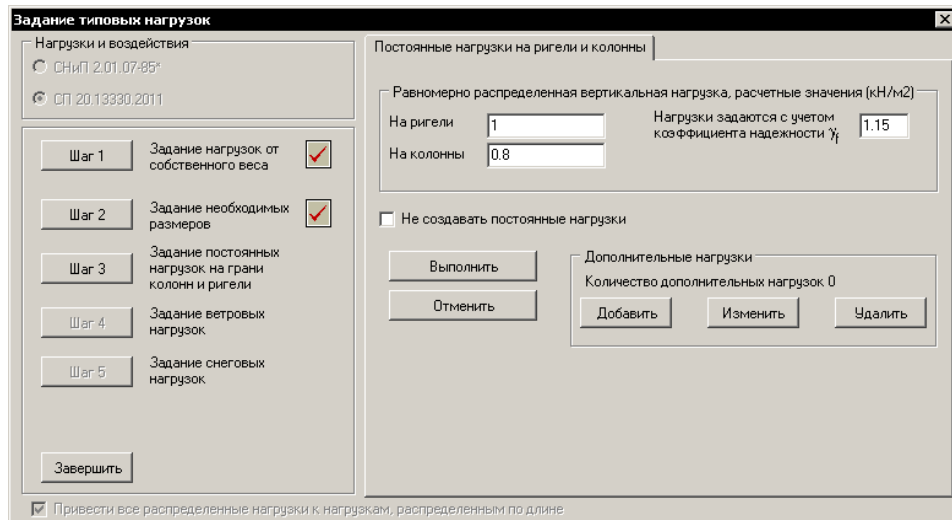


Рис. 13. 20

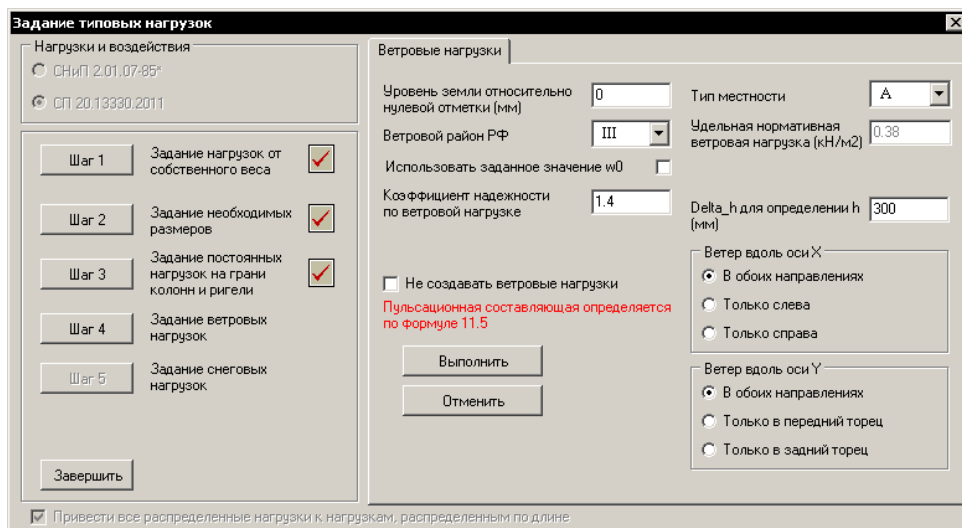


Рис. 13. 21

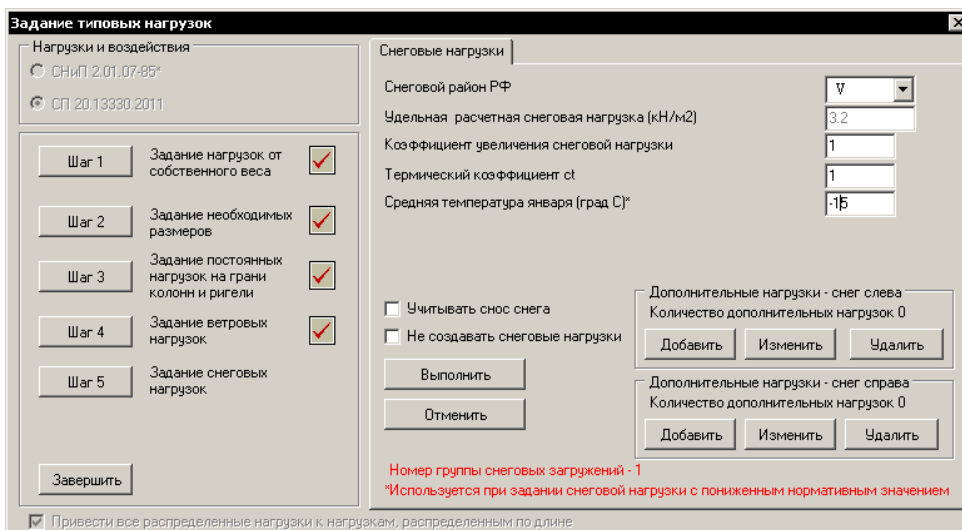


Рис. 13. 22

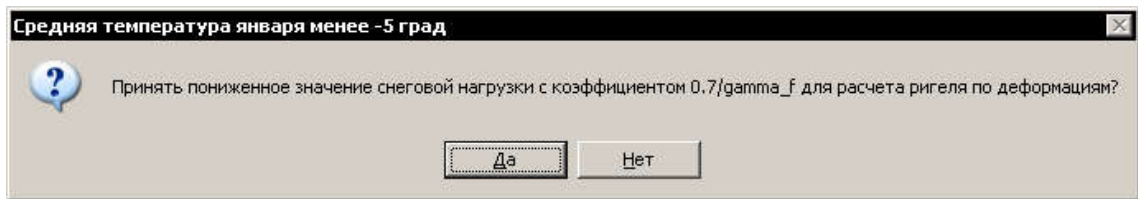


Рис. 13. 23

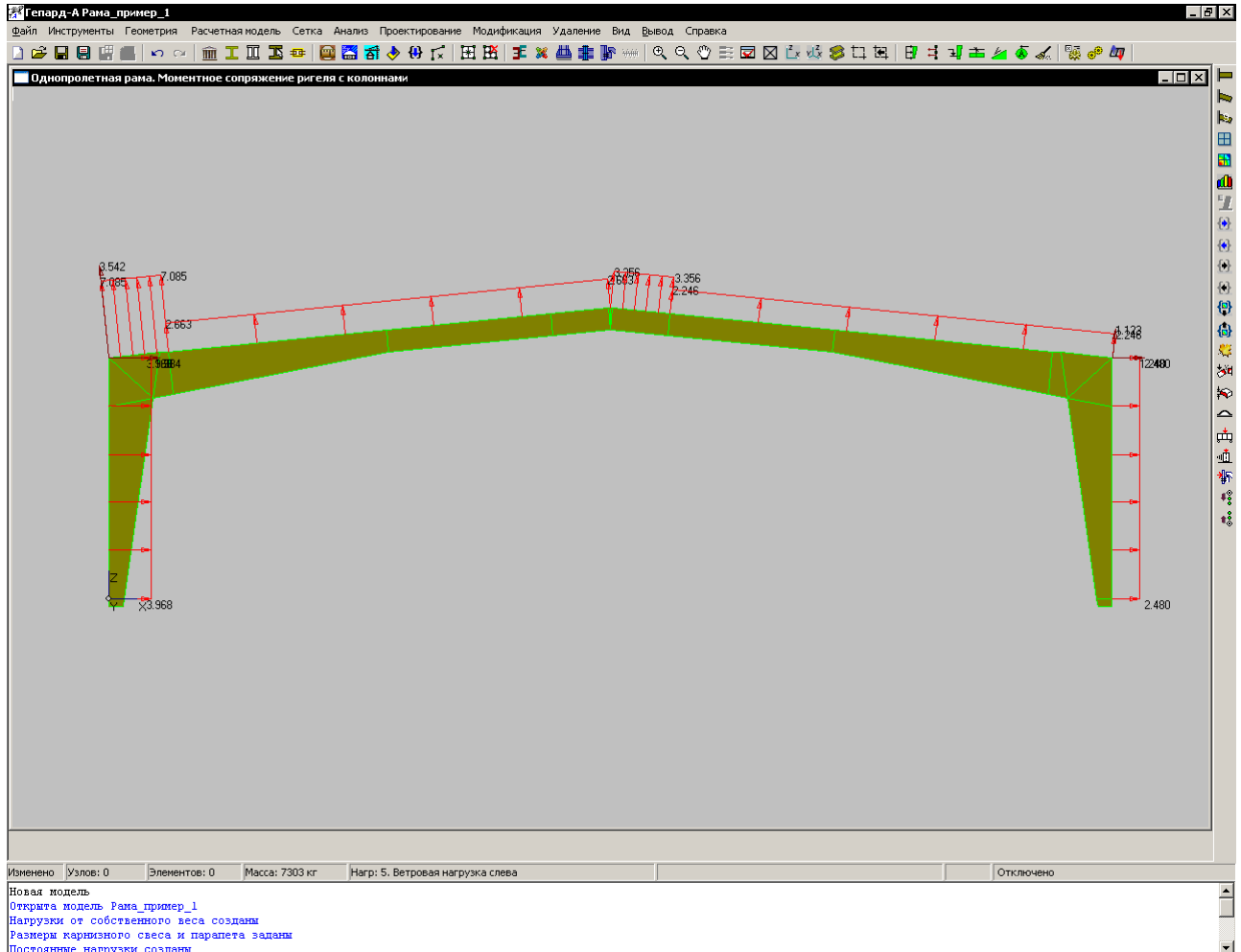


Рис. 13. 24

18. Генерация конечноэлементной сетки стержневой модели выполняется командой **Сетка** ⇒ **Стержневая модель**. При первом обращении к этой команде автоматически выполняется команда **Сетка** ⇒ **Параметры сетки модели**, панель которой показана на рис. 13.25. Размер элемента балки, установленный по умолчанию, изменять не будем. После нажатия кнопки **Применить** выполняется конечноэлементное разбиение геометрической модели рамы. При этом автоматически назначаются шарнирные крепления по низу колонны.
19. Чтобы экспортировать в SCAD полноценную модель, необходимо назначить коэффициенты расчетных длин конструктивных элементов командой **Расчетная модель** ⇒ **Коэффициенты расчетных длин**. Панель команды показана на рис. 13.26. Используя кнопки **По умолчанию** и **Применить**, назначаем коэффициенты расчетных длин, а для ригеля из плоскости рамы расчетную длину.
20. Экспорт расчетной модели в текстовом формате SCAD выполняется командой **Файл** ⇒ **Экспорт модели**. При выполнении этой команды возможно появление предупре-

ждения, рис. 13.27, и панели параметров модели, рис. 13.28, на которой нужно установить требуемые коэффициенты условий работы. На панели экспорта в SCAD вначале нужно открыть вкладку **Конструктивные элементы-назначения**, рис. 13.29, и установить требуемые величины. Затем переходим на вкладку **Экспорт**, рис. 13.30, и нажимаем кнопку **Выполнить**.

21. Сохраним проект под именем “Рама_пример_1.pwk” командой **Файл ⇒ Сохранить**

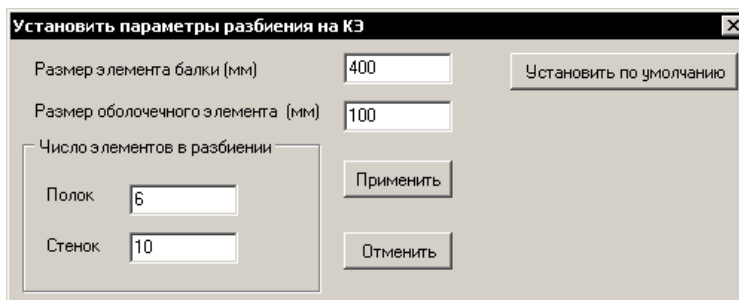


Рис. 13. 25

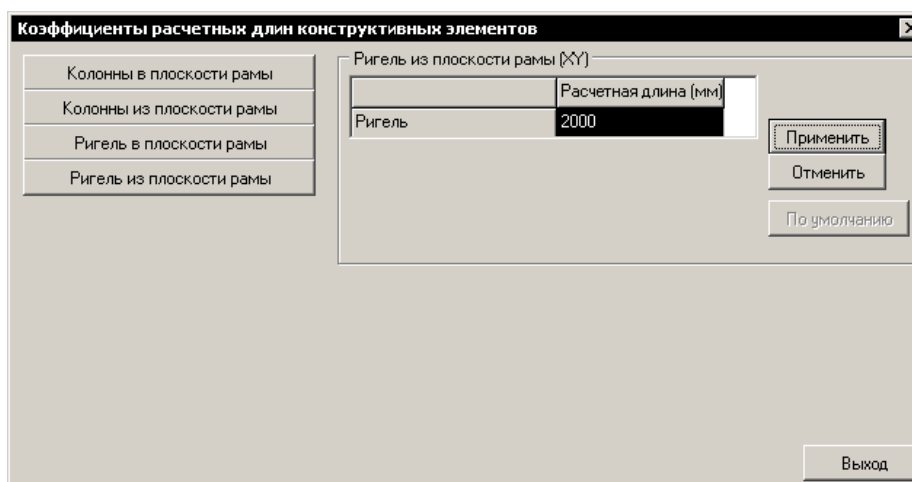


Рис. 13. 26

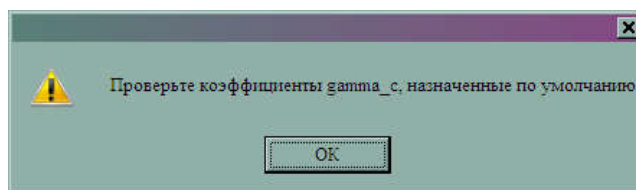


Рис. 13. 27

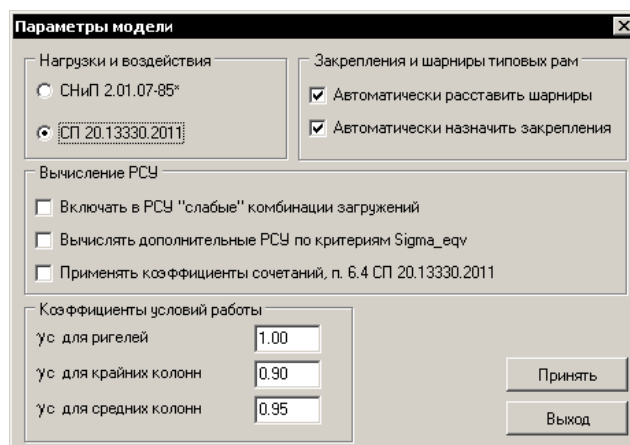


Рис. 13. 28

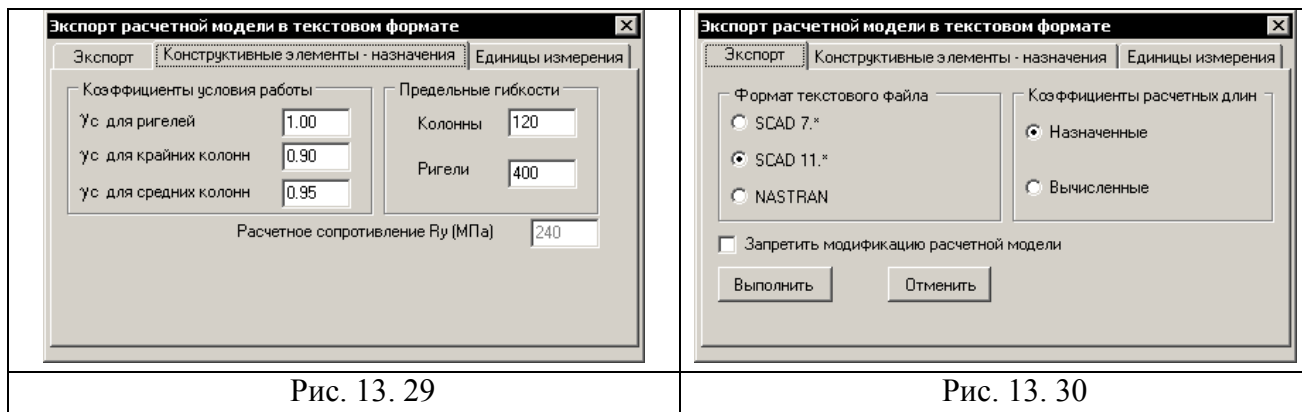


Рис. 13. 29

Рис. 13. 30

13.2. Выполнение проверок

Для каждого типа рамы предусмотрен свой набор проверок в соответствии со СНиП. Рассмотрим раму из предыдущего примера. Для рамы с шарнирным опиранием колонн на фундамент выполняется проверка прочности конструктивных элементов, проверка местной устойчивости стенок и проверка ограничений по прогибам.

1. Откроем проект "Рама_пример_1.pwk" командой **Файл** \Rightarrow **Открыть**.
2. Для выполнения проверок устойчивости стенок на геометрической модели необходимо задать поперечные ребра, ограничивающие отсеки.
3. Выполняем команду **Геометрия** \Rightarrow **Поперечные ребра жесткости**. Выбираем двустороннее ребро на всю высоту стенки и задаем параметры ребра, показанные на рис. 13.31. Это будет ребро, имитирующее опорную плиту. Нажимаем кнопку **Применить**, затем кнопку **Записать параметры**.
4. Аналогичным образом создаем несколько поперечных ребер на колоннах и ригеле, используя опции **Колонна** и **Ригель слева** вкладки **Расположение ребра**
5. Для создания диагональных ребер в сопряжении ригеля и колонны выберем опцию **Сопряжение ригеля и колонны**.
6. Создадим ребро по линии стыка, имитирующее диагональный фланец. Конфигурация панели после задания необходимых параметров имеет вид, рис. 13.32.
7. Создадим двустороннее ребро общего положения на колонне. Конфигурация панели после задания необходимых параметров имеет вид, рис. 13.33. Аналогично создадим ребро на ригеле. Фрагмент геометрической модели после создания всех ребер показан на рис. 13.34. Масса рамы с учетом заданных ребер $M=8895$ кг вычисляется автоматически и отображается в статусной строке.
8. Создадим конечноэлементную сетку командой **Сетка** \Rightarrow **Стержневая модель** и выполним статический расчет на заданные нагрузки. Расчет выполняется с помощью команды **Анализ** \Rightarrow **Выполнить анализ**. При выполнении этой команды автоматически выполняется команда **Анализ** \Rightarrow **Параметры анализа модели**, рис. 13.35. Оставляем значения и опции по умолчанию и нажимаем кнопку **Применить**.
9. С помощью кнопок справа от графического окна можно посмотреть деформированное состояние и эпюры силовых факторов для всех загрузок и комбинаций загрузок, рис. 13.36, 13.37.

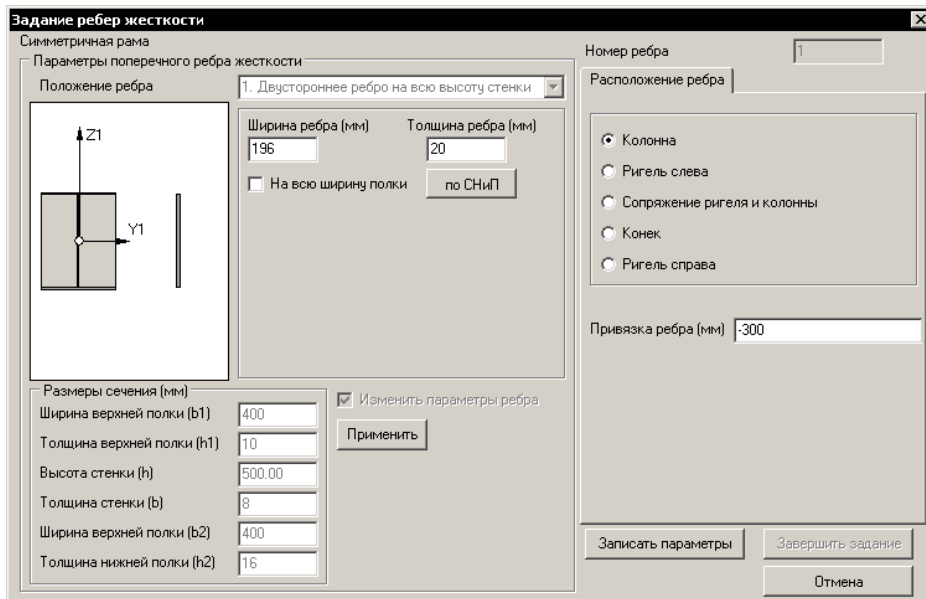


Рис. 13. 31

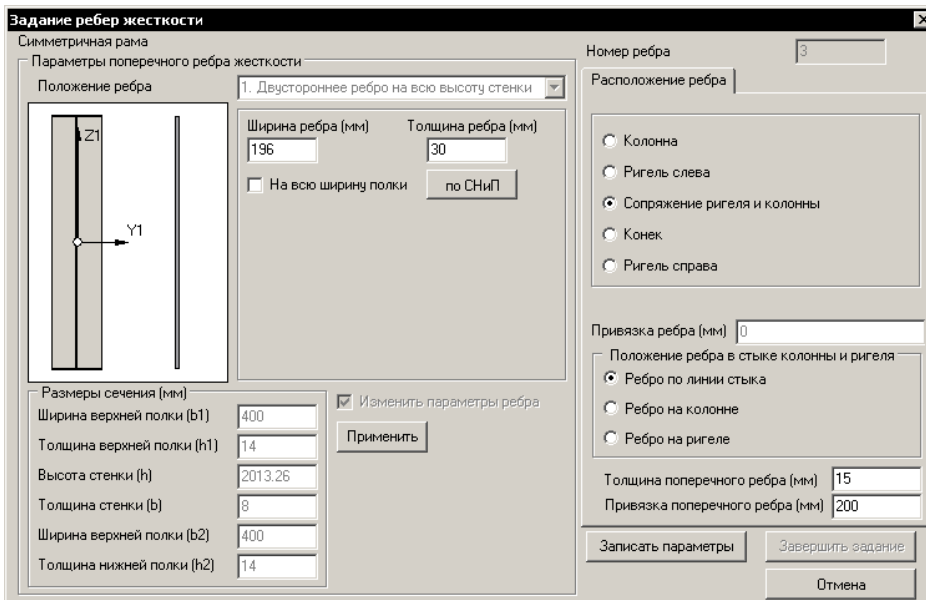


Рис. 13. 32

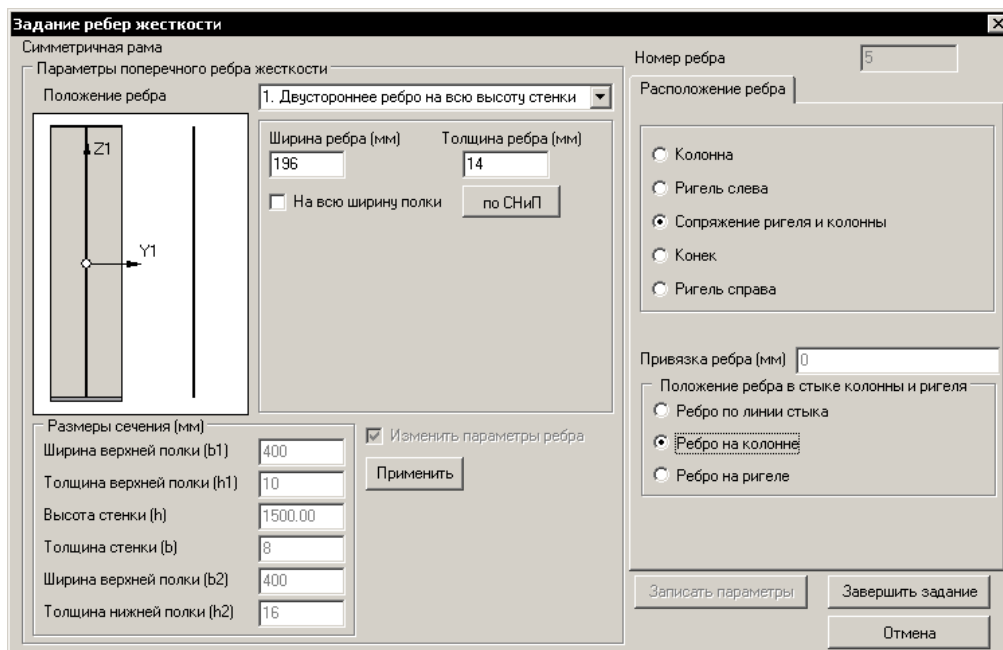


Рис. 13.33

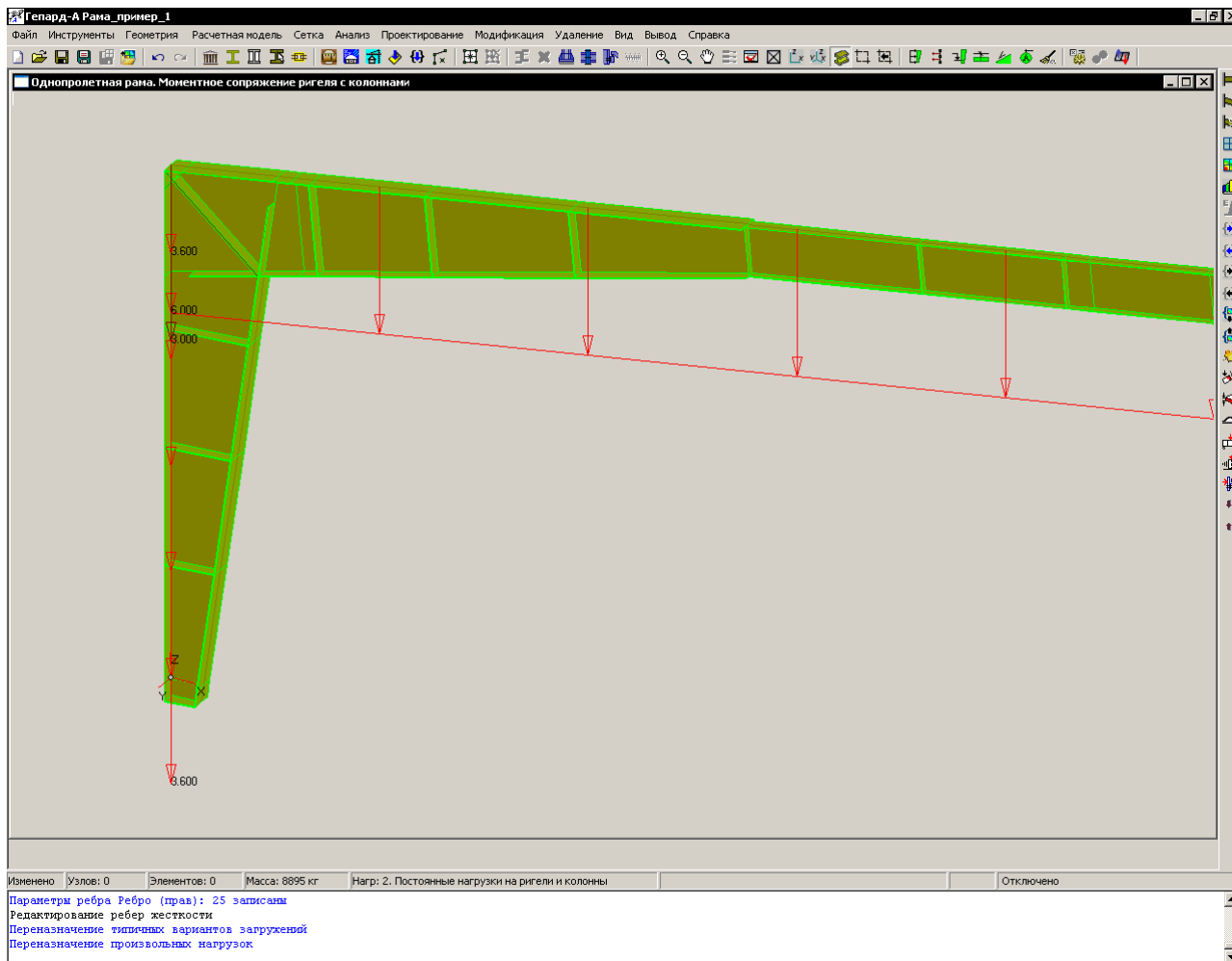


Рис. 13.34

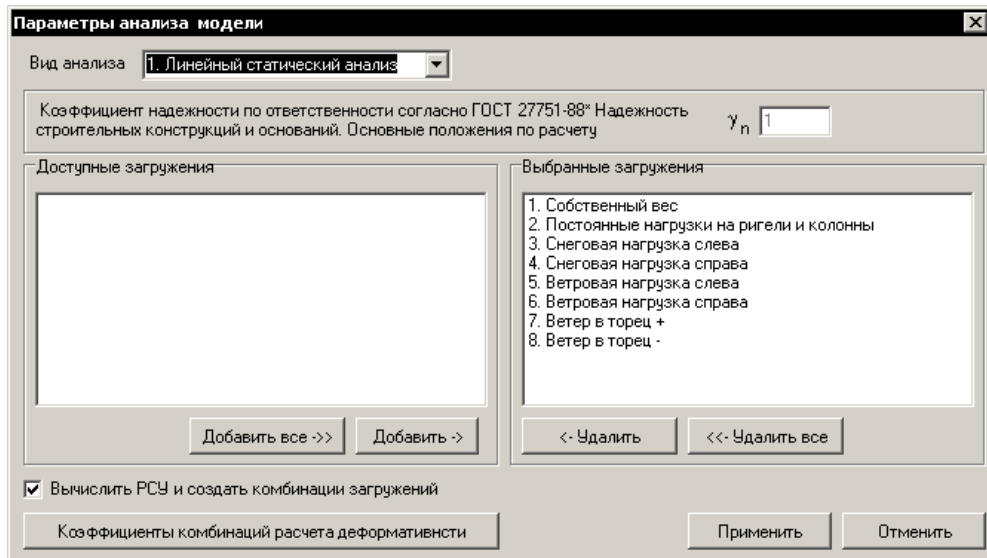


Рис. 13. 35

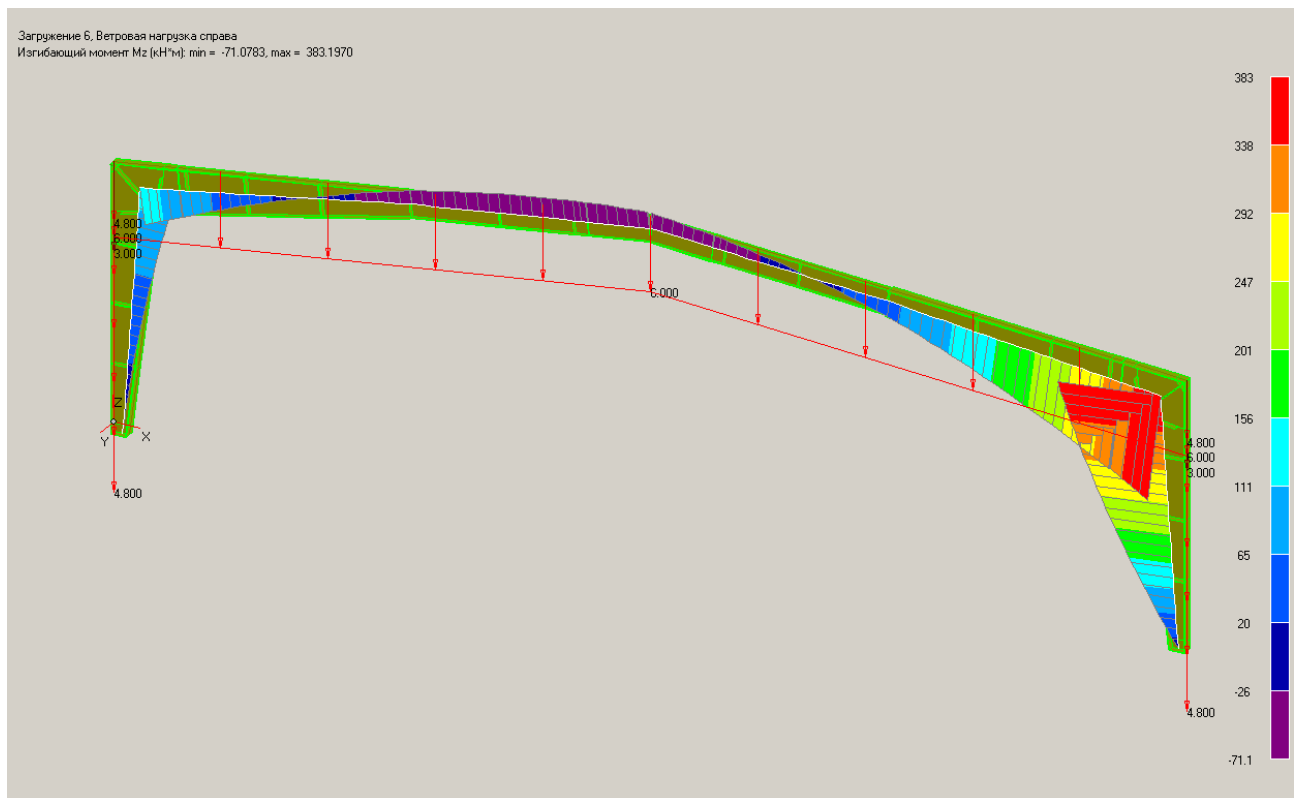


Рис. 13. 36

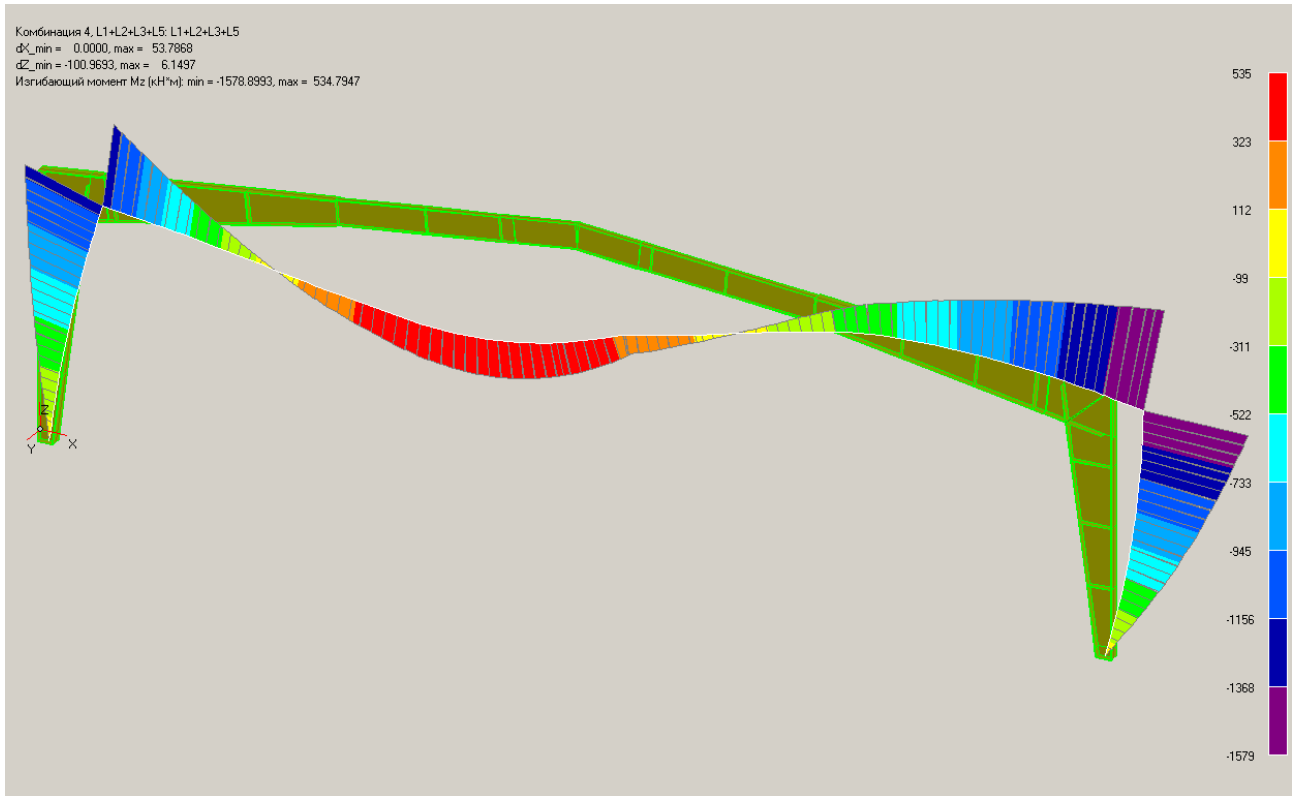


Рис. 13. 37

10. Выполним команду **Проектирование** \Rightarrow **Проверки ограничений и параметры проверок** и перейдем на вкладку **Проверка прочности**. Выберем опции в соответствии с рис. 13.38 и нажмем кнопку **Выполнить проверку**.
11. Если нажата кнопка **Вывести огibaющую по результатам проверок**, то элементы будут покрашены либо в зеленый цвет, когда проверка проходит, либо в красный. Если эта кнопка не нажата, то проверка выполняется для текущей комбинации загружений. Если текущим является отдельное загружение или комбинация для проверки прогибов, проверка не выполняется. Для данной рамы коэффициент использования материала превышает 1.0 в элементах стыка ригеля с колонной, рис. 13.39.

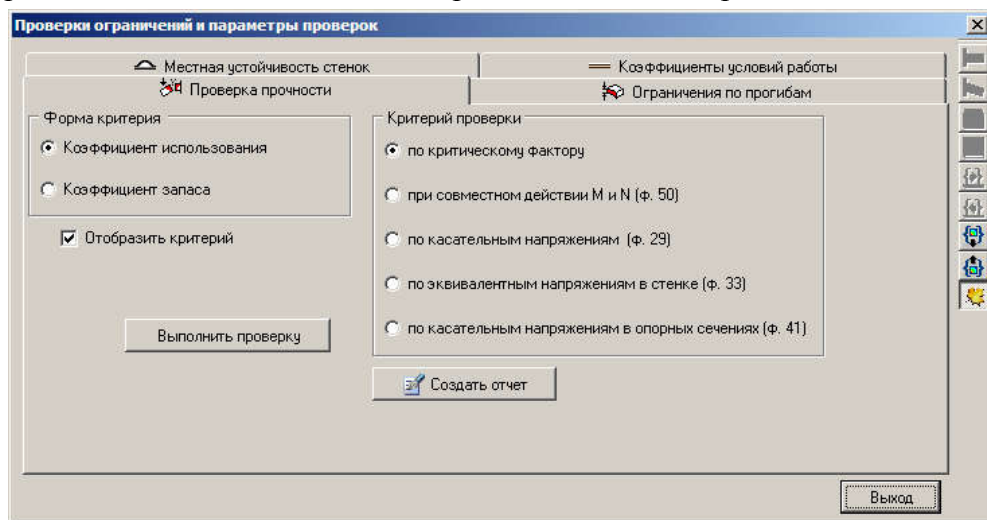


Рис. 13. 38

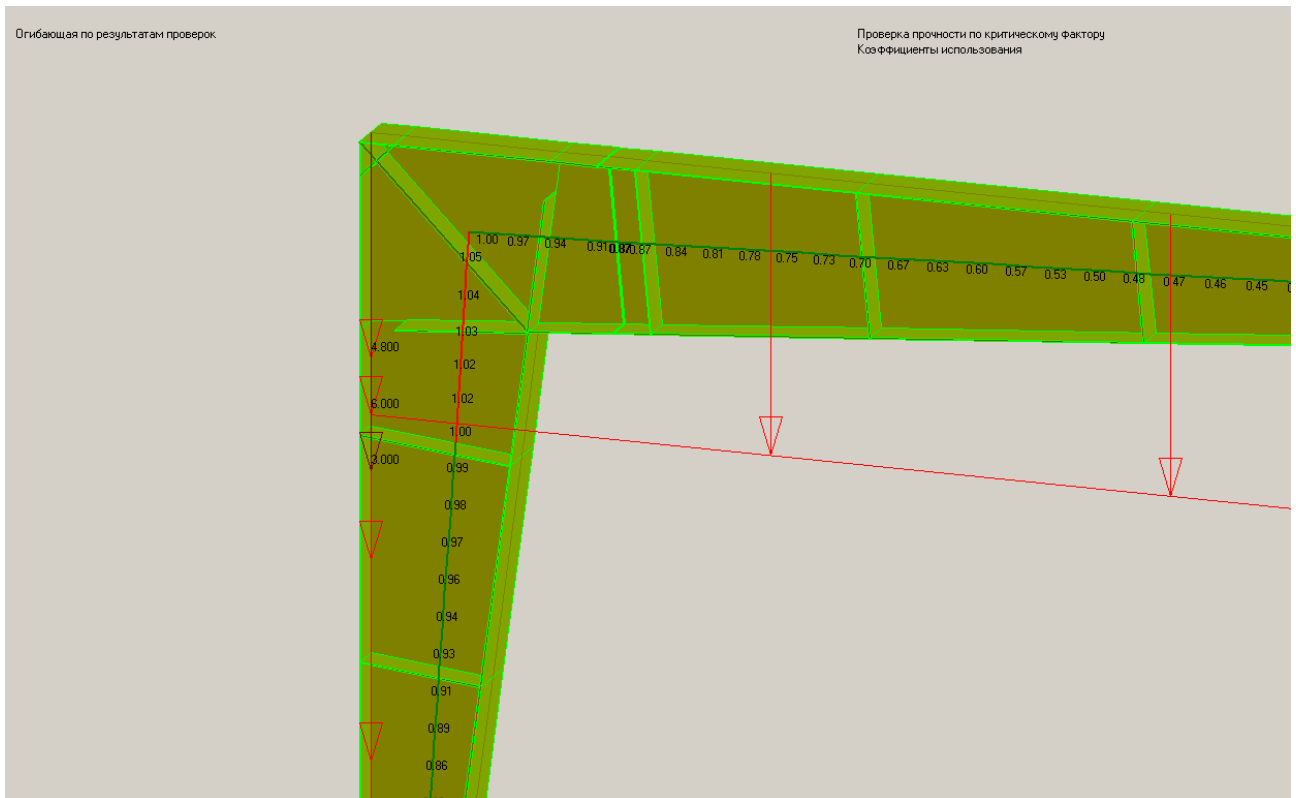


Рис. 13. 39

12. Перейдем на вкладку **Местная устойчивость стенок**. Выберем опции в соответствии с рис. 13.40 и нажмем кнопку **Выполнить проверку**. Если нажата кнопка **Вывести огибающую по результатам проверок**, то элементы рамы в пределах каждого отсека будут покрашены либо в зеленый цвет, когда проверка проходит, либо в красный. Для данной рамы коэффициент использования материала превышает 1.0 в элементах стыка ригеля с колонной, рис. 13.41.

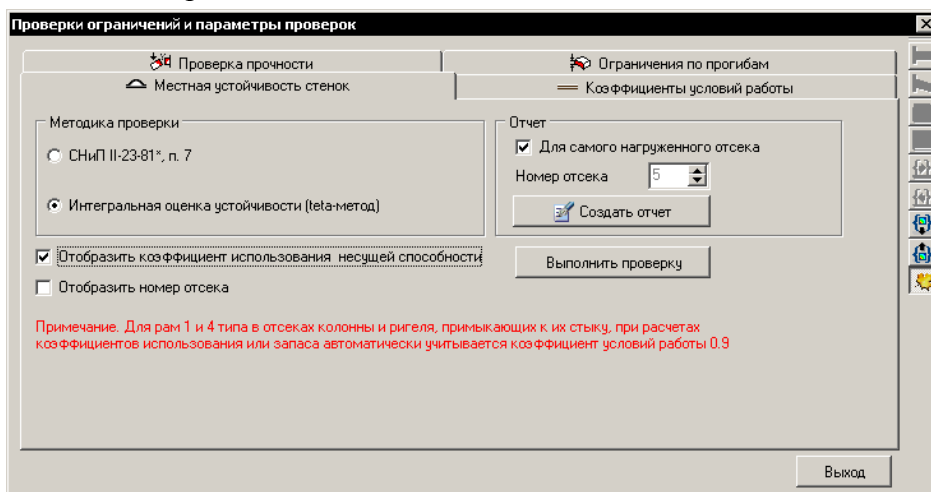


Рис. 13. 40

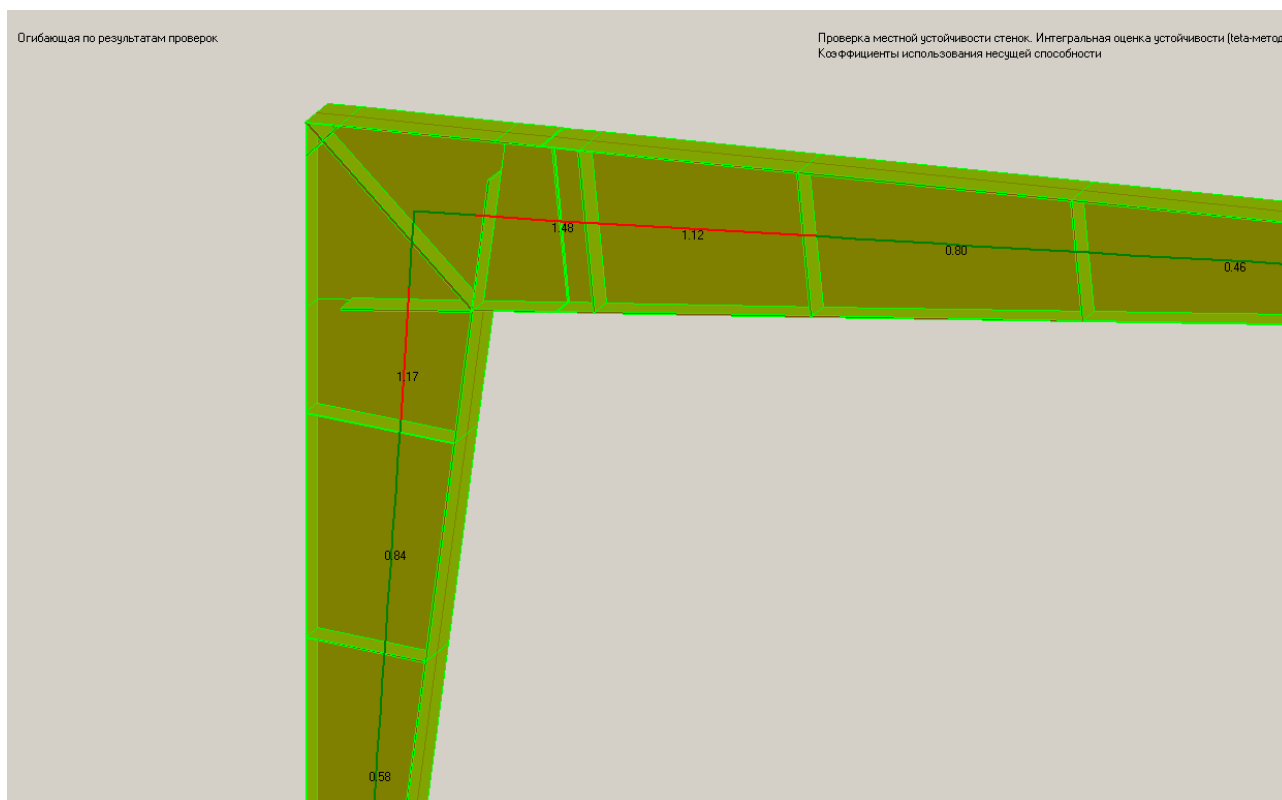


Рис. 13. 41

13. Перейдем на вкладку **Ограничения по прогибам**. Выберем опции в соответствии с рис. 13.42. При этом ограничения на вертикальные и горизонтальные смещения устанавливаются автоматически. При нажатии кнопки **Выполнить проверку** проводится проверка перемещений в зависимости от выбранной опции на панели **Вид проверки**. Узлы, для которых проверка не проходит, окрашиваются в красный цвет.

14. Сохраним проект под именем “Рама_пример_2.pwk” командой **Файл ⇒ Сохранить**

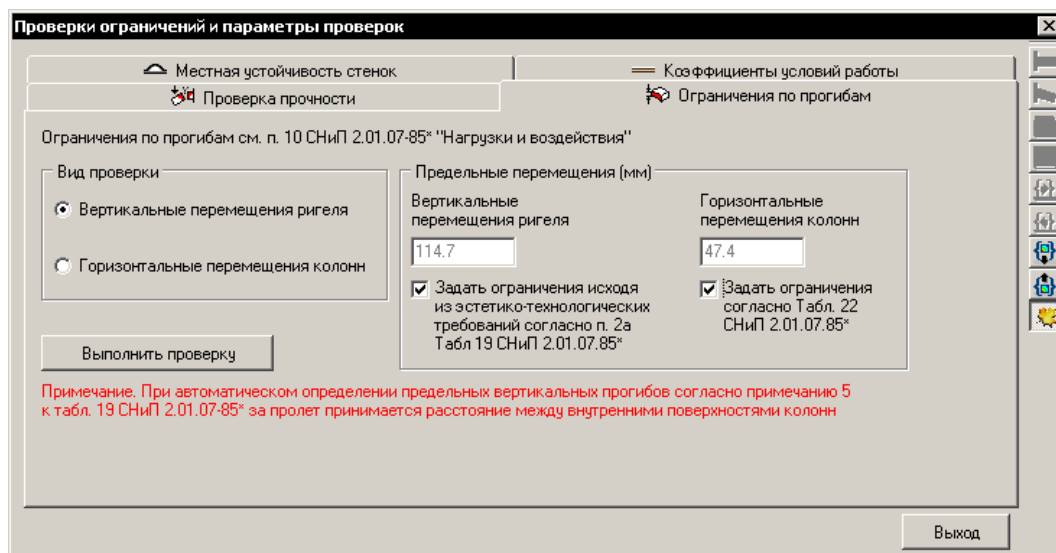


Рис. 13. 42

13.3. Подбор сечений

В Гепард-А реализован алгоритм подбора сечений изгибаемых элементов, [5] табл. 2. Рассмотрим раму из предыдущего примера и выполним подбор некоторых сечений. Для то-

го, чтобы автоматизировать согласование параметров сечения рамы в процессе подбора используем инструмент “Группы сечений”.

1. Откроем проект “Рама_пример_2.rwk” командой **Файл ⇒ Открыть**.
2. Выполним команду **Инструменты ⇒ Определить группу сечений**, рис. 13.43. Пока в модели нет ни одной группы сечений. Нажмем кнопку **Создать новую группу** и создадим группу “Ригель_конек” с правилом **Равная толщина стенок и полок, ширина полка**, рис. 13.44. Это означает, что у всех сечений в группе соответствующие параметры будут устанавливаться равными параметрам базового сечения, которым является первое сечение группы.
3. Первым поместим в группу дополнительное сечение на ригеле - “Сечение 1”, затем “Сечение ригеля в коньке”. Поскольку рама симметричная, в группу также попадают соответствующие правые сечения, рис. 13.45. Нажмем кнопку **Применить**.
4. Аналогично создадим группу “Колонна” и поместим в нее сечение “Левая колонна в стыке с ригелем”, затем “Левая колонна внизу”. Нажмем кнопку **Применить**, затем - **Завершить**.
5. Создадим сетку конечных элементов и выполним анализ.
6. Для подбора сечений выполним команду **Проектирование ⇒ Подбор сечений двутавров по прочности**.
7. При назначении параметров подбора сечений, включим опцию “Учитывать ограничения на размеры” и установим ограничения и параметры подбора как на рис. 13.46. Коэффициенты условий работы назначаются в соответствии с [1], Табл. 6*.
8. Нажмем кнопку **Перейти к подбору**. Выберем сечения “Сечение 1 (Е-Е)” и “Левый ригель в коньке”. При этом автоматически выбирается РСУ для этих сечений, рис. 13.47.
9. При нажатии кнопки **Выполнить подбор**, в полях справа отображаются новые параметры последнего выбранного сечения, рис. 13.48.
10. После подбора сечений параметры сечения ригеля в коньке изменяются в соответствии с правилом группы сечений.
11. Так как распределение моментов на раме зависит от распределения жесткостей, процесс подбора должен быть итерационным. Для выполнения итерации необходимо нажать кнопку **Выполнить статический расчет** и повторить подбор сечения.
12. После нескольких итераций выполнение проверки прочности дает результат, показанный на рис. 13.49.

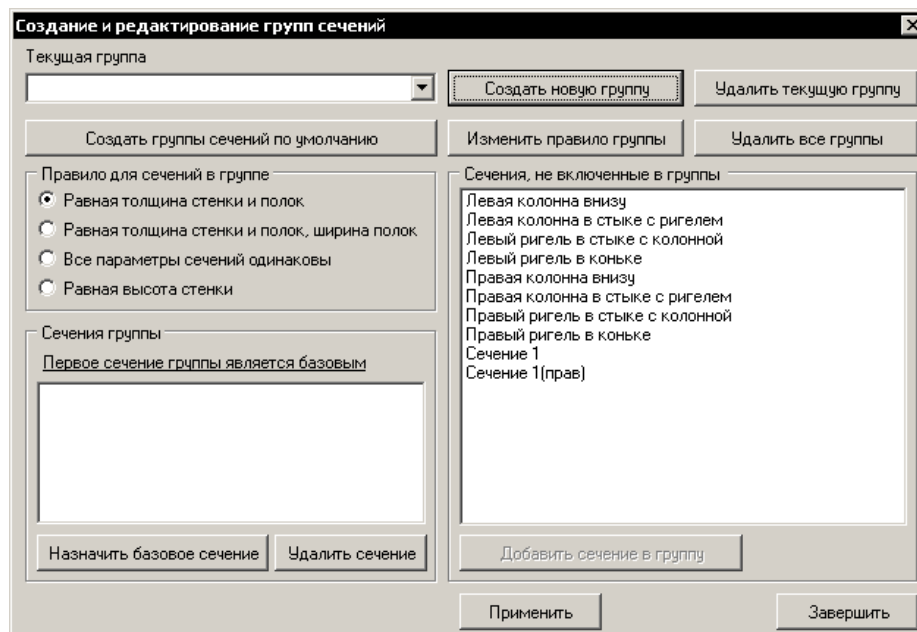


Рис. 13. 43

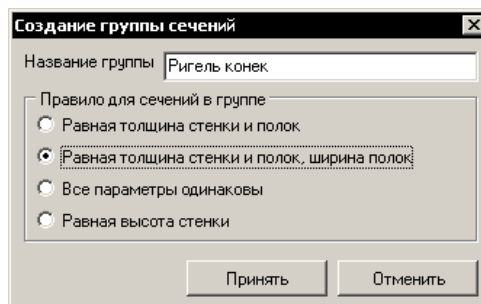


Рис. 13. 44

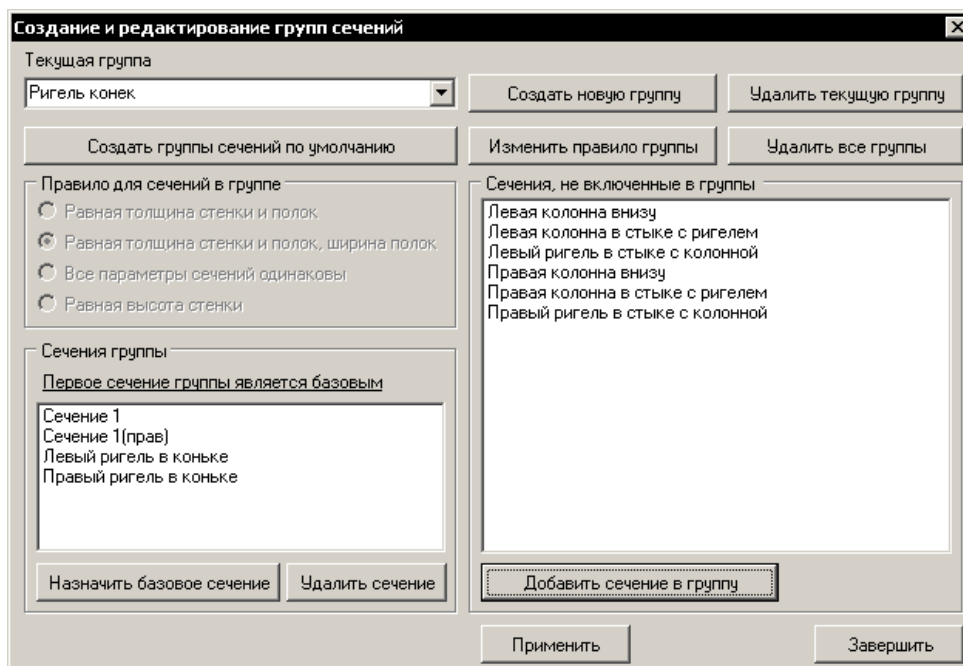


Рис. 13. 45

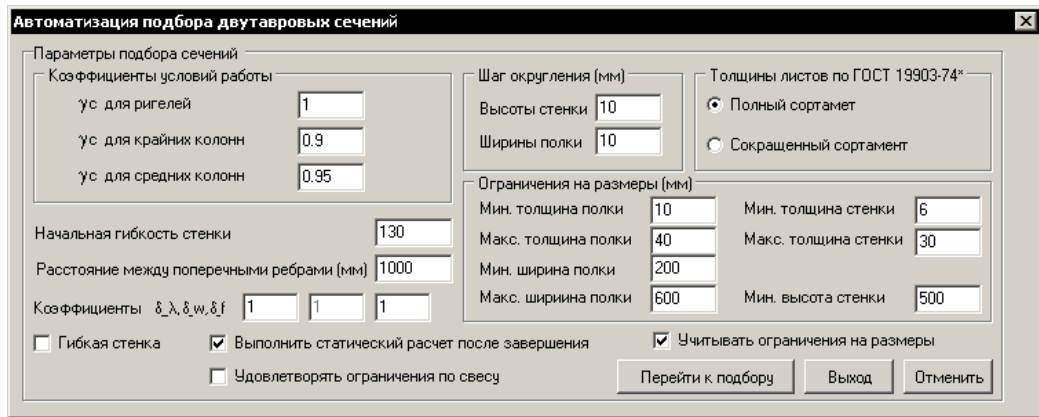


Рис. 13.46

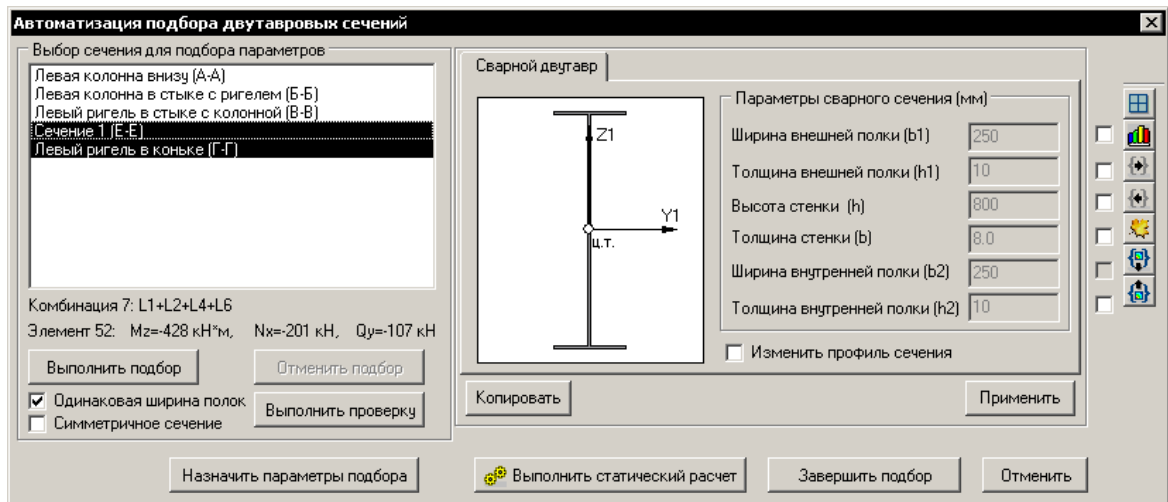


Рис. 13.47

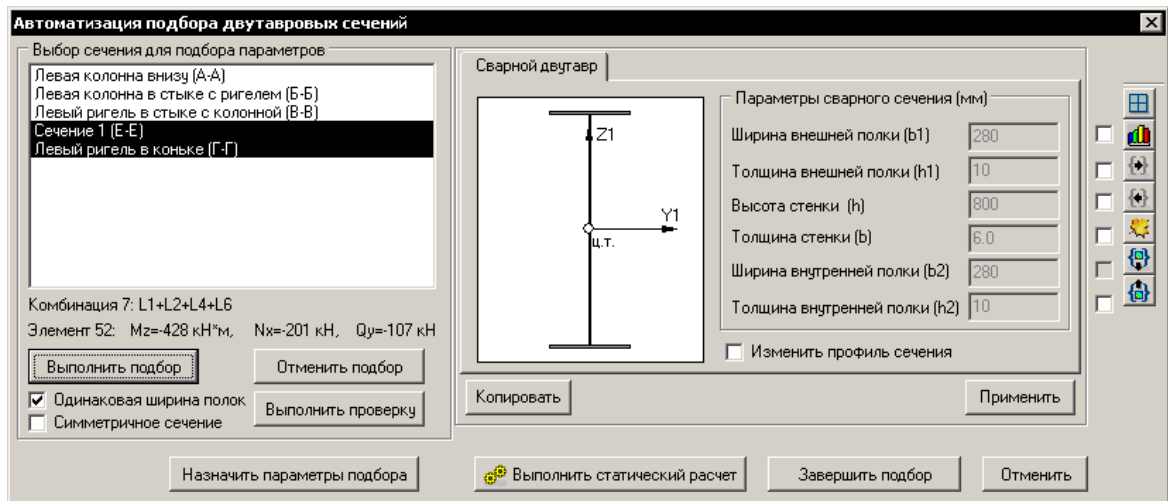


Рис. 13.48

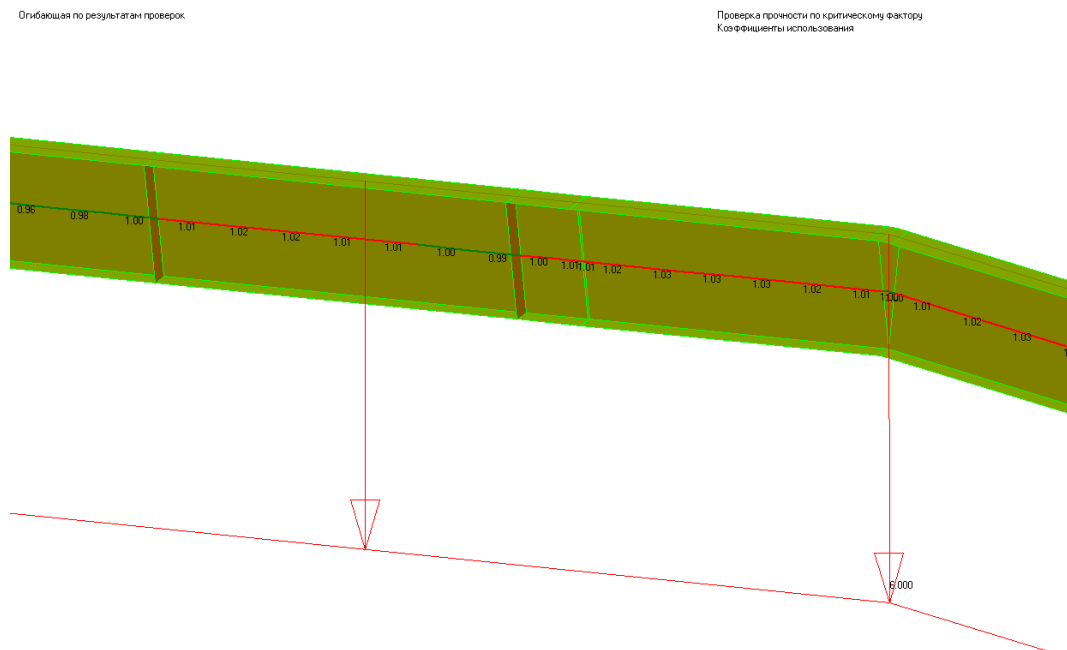


Рис. 13. 49

13.4. Проектирование узлов

В этом разделе решается задача автоматизированного проектирования узлов опирания колонн на фундамент и фланцевых узлов.

1. Откроем проект “Рама_пример_2.pwk”.
2. Создадим сетку конечных элементов и выполним анализ.

13.4.1. Базы колонн

3. Выполним команду **Проектирование** ⇒ **Расчет опорных узлов колонн**. В диалоговом окне команды, рис. 13.50, необходимо установить или принять по умолчанию параметры сварных швов, рис. 13.51, и конструктивные параметры, рис. 13.52, используемые при расчете узла.
4. РСУ для проектирования узла устанавливаются автоматически по результатам анализа. При нажатии кнопки **Компоновка опоры** производится автоматическая компоновка узла и вычисляются коэффициенты использования, рис. 13.53. При нажатии соответствующих кнопок на панели **Расчет опорных узлов колонн** можно вывести:
 - эскиз узла;
 - отчет по расчету узла в формате Word;
 - эскиз сварных швов.

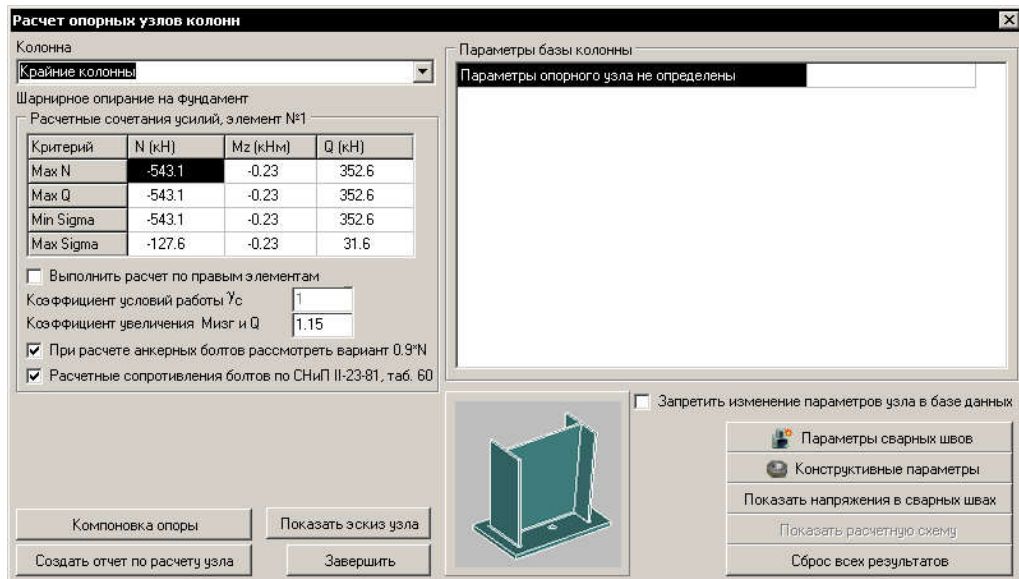


Рис. 13. 50

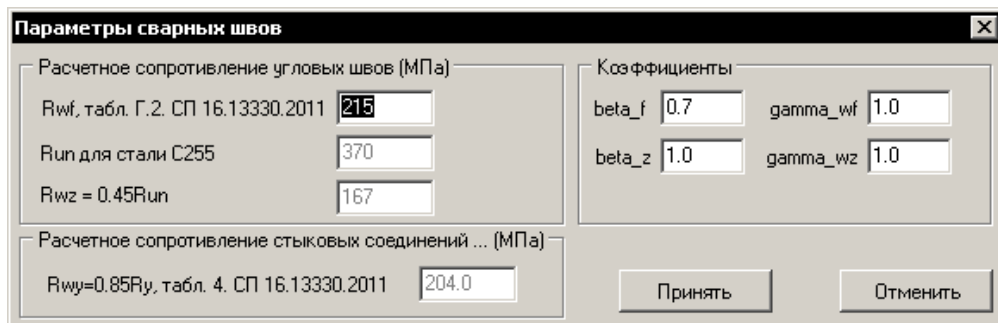


Рис. 13. 51

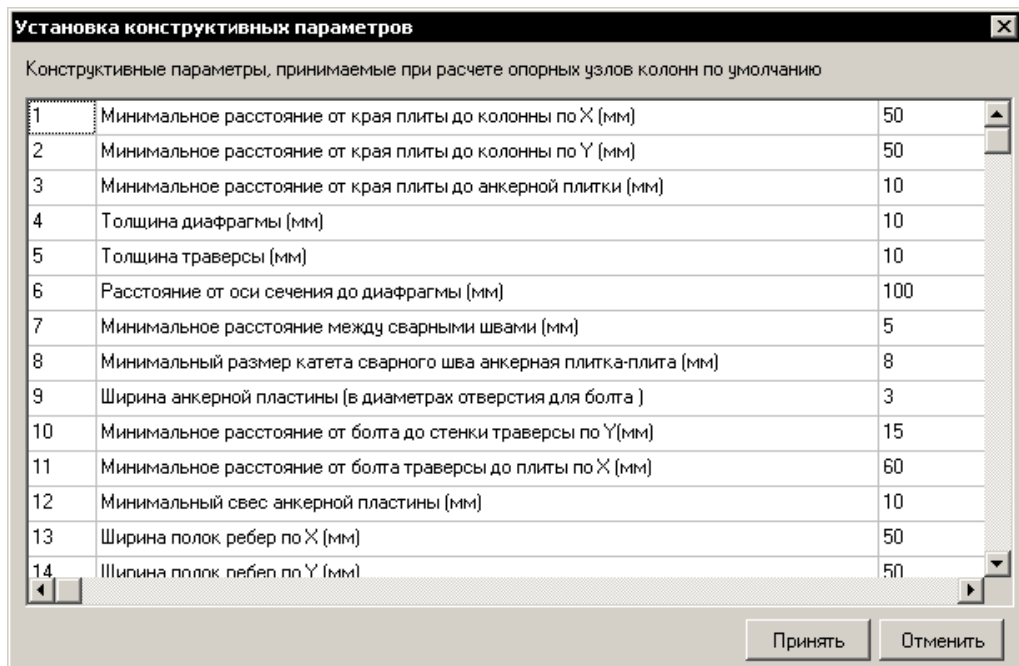


Рис. 13. 52

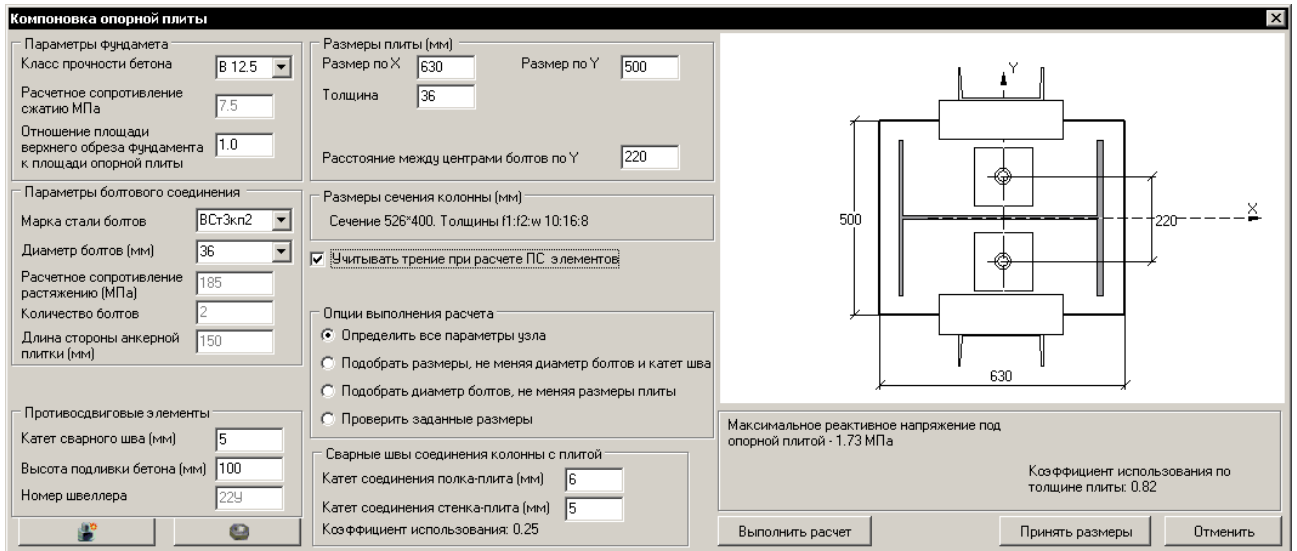


Рис. 13. 53

13.4.2. Фланцевые соединения

5. Выполним команду **Проектирование** \Rightarrow **Расчет фланцевых соединений**. В диалоговом окне выбора сечений указываются сечения, для которых будет проводиться проектирование фланцев, рис. 13.54. Выбираем “Стык левых ригеля и колонны” и “Сечение 1”.
6. На следующей панели в окне **Соединение** выбираем “Стык левых ригеля и колонны”, рис. 13.55. Устанавливаем параметры сварных швов и конструктивные параметры, используемые при расчете узла. РСУ для проектирования узла устанавливаются автоматически по результатам анализа.
7. При нажатии кнопки **Компоновка узла** производится автоматическая компоновка фланца, и вычисляются коэффициенты использования, рис. 13.56. При изменении каких-либо параметров узла коэффициенты использования автоматически пересчитываются. Для гарантированного пересчета коэффициентов использования, необходимо нажать кнопку **Расчет и отображение фланца**.
8. В окне **Соединение** выбираем фланец по “Сечению 1”. На рис. 13.57 показан результат компоновки узла.

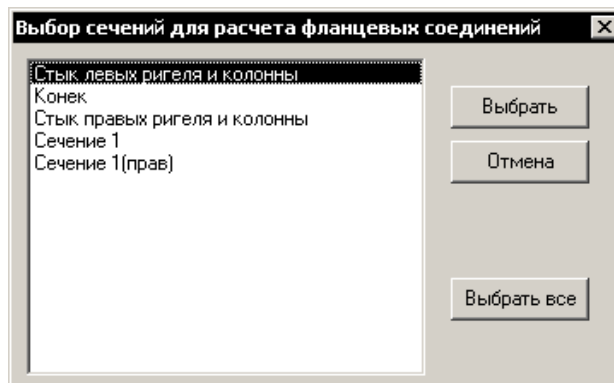


Рис. 13. 54

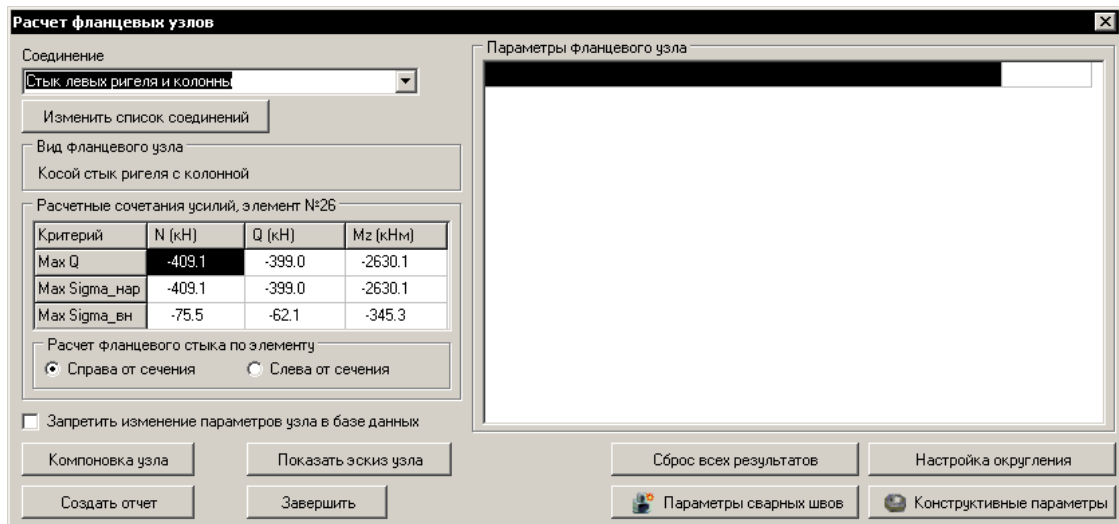


Рис. 13. 55

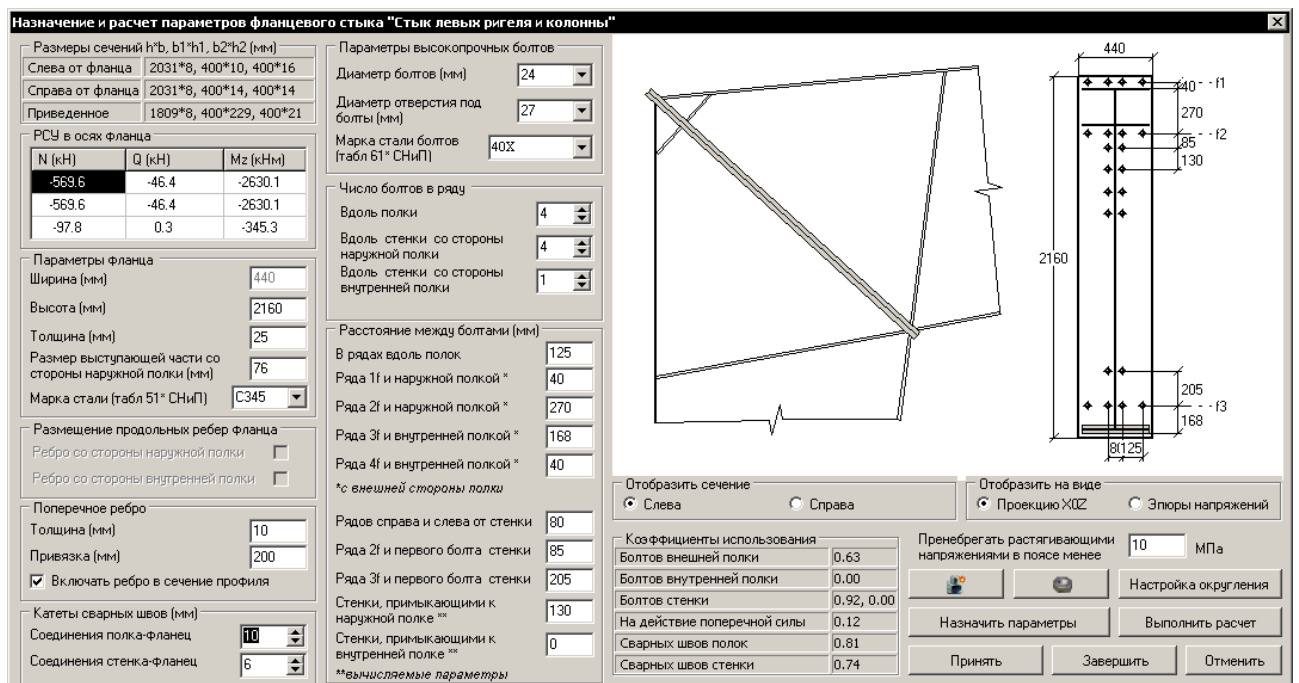


Рис. 13. 56

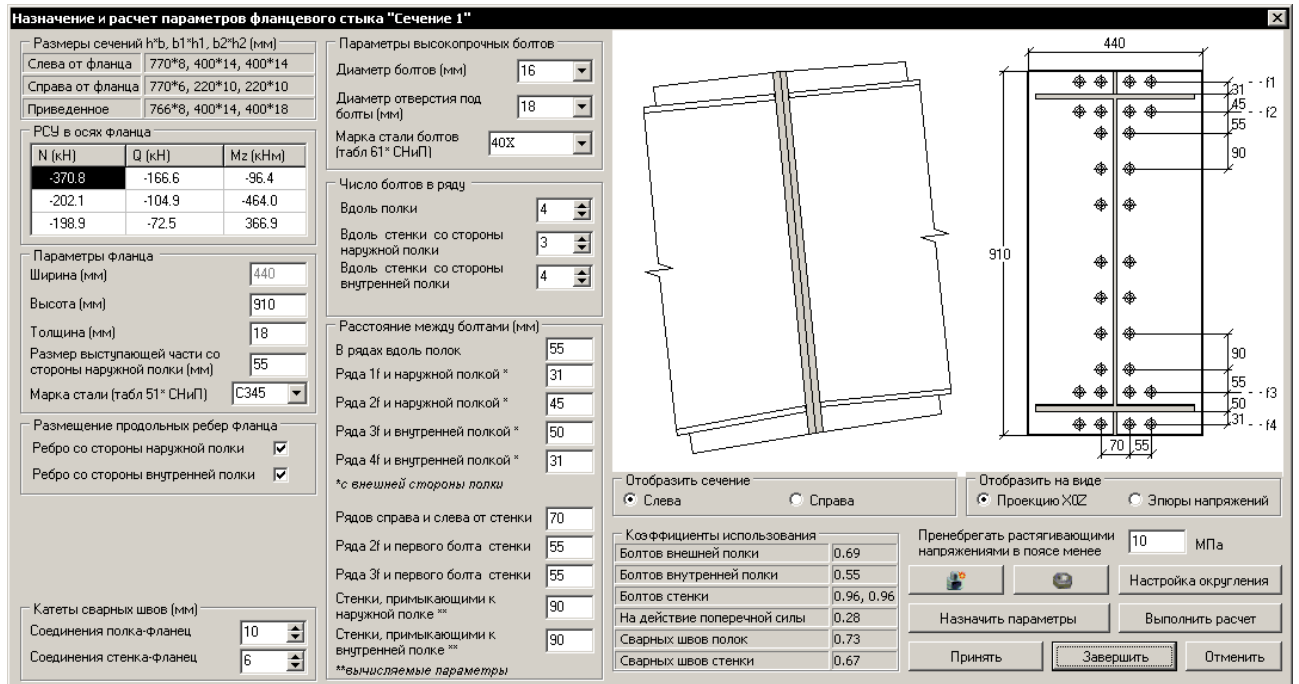


Рис. 13. 57

13.4. Модель рамы произвольного вида

Рассмотрим пример построения расчетной модели рамы произвольного вида, показанную на рис. 13.58.

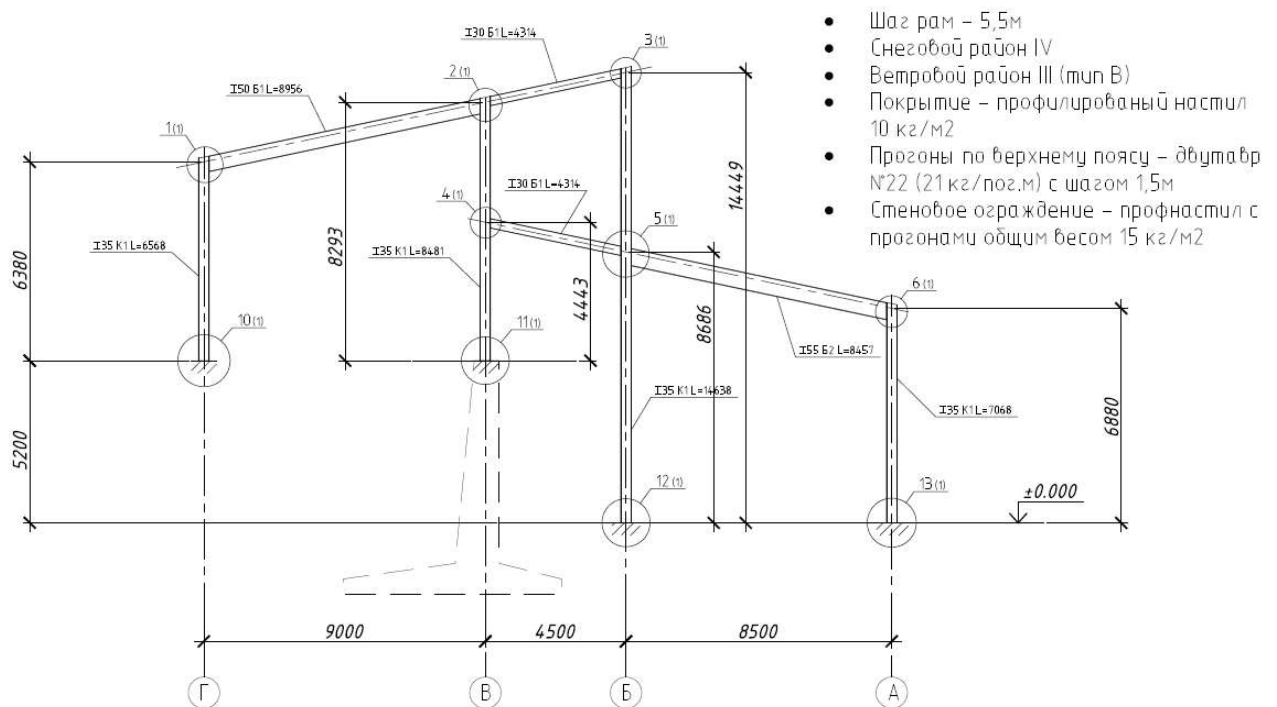


Рис. 13. 58

Создание расчетной модели

22. Создаем новый проект командой **Файл ⇒ Новая схема**. Выбираем опцию **Рама произвольной конфигурации**, заполняем поле **Название проекта**, рис. 13.59.

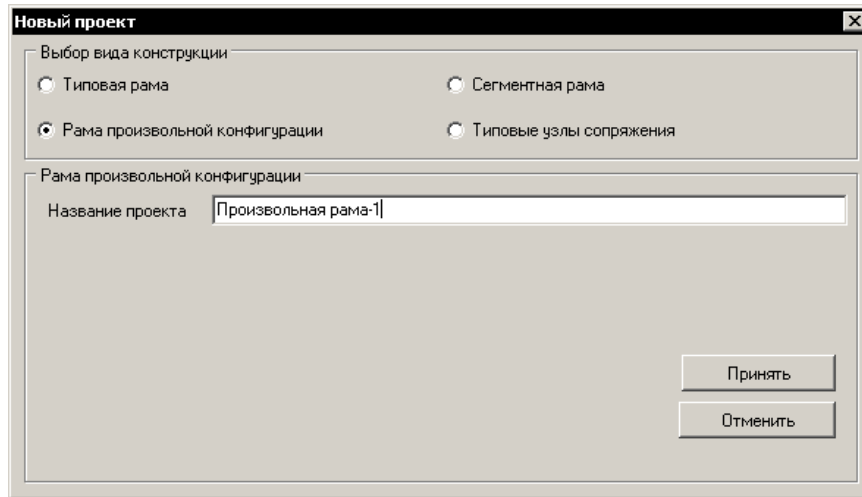


Рис. 13. 59

23. После нажатия кнопки **Принять** появляется панель задания геометрии произвольной рамы, в которой заполняем поле **Грузовая ширина**, рис. 13.60. Все размеры задаются в *миллиметрах*.
24. Построение расчетной модели произвольной рамы начинаем либо с задания точек, либо с задания линий, на которые затем будут ссылаться конструктивные элементы рамы. Начнем с задания линий осей колонн – кнопка **Линии**.
25. Выберем начало координат на оси Г по уровню земли. Панель задания первой линии показана на рис. 13.61. После нажатия кнопки **Принять** изображение линии появляется на экране. Следующие линии имеют координаты:
 - 9000, 0 , 5200; 9000,0, 5200+4443;
 - 9000, 0 , 5200+4443; 9000,0, 5200+8293;
 - 9000+4500, 0 , 0; 9000+4500,0, 8686;
 - 9000+4500, 0 , 8686; 9000+4500,0, 14449;
 - 9000+4500+8500, 0 , 0; 9000+4500+8500,0, 6880.

Результат после выхода из команды создания линий и задания геометрии рамы показан на рис. 13.62. Изменение цвета фона, линий, точек и меток выполняется комендой **Вид ⇒ Параметры изображения модели**.

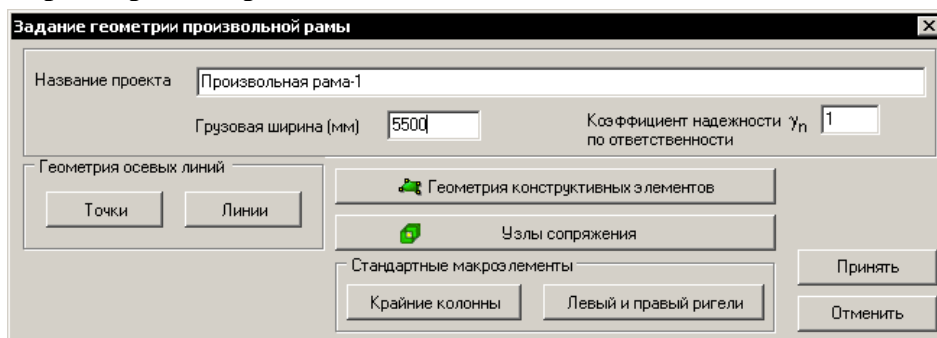


Рис. 13. 60

Задать линию			
Номер	<input type="text" value="1"/>	Метод задания	По координатам
X1	<input type="text" value="0"/>	Y1	<input type="text" value="0"/>
X2	<input type="text" value="0"/>	Y2	<input type="text" value="0"/>
Z1	<input type="text" value="5200"/>	Z2	<input type="text" value="5200+6380"/>
			Принять
			Завершить

Рис. 13. 61

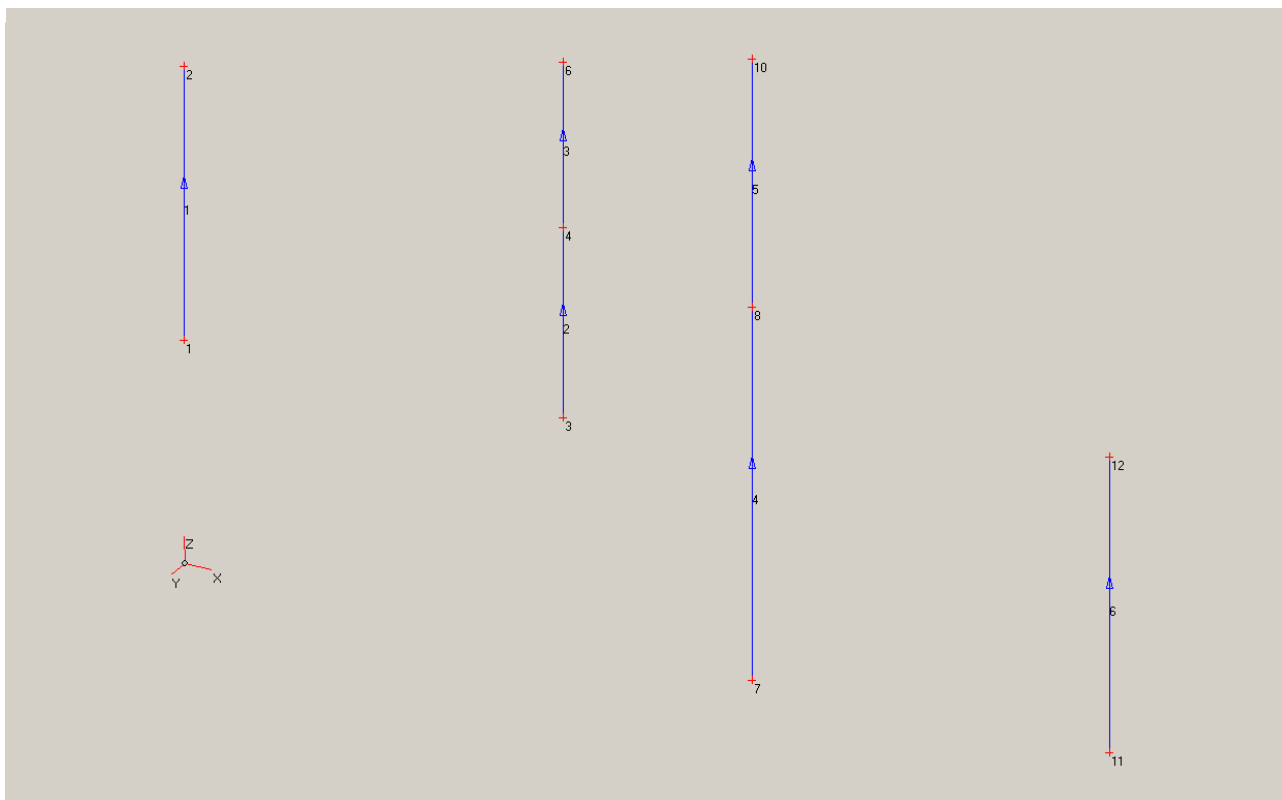


Рис. 13. 62

26. Продолжим создание линий, выполним команду **Геометрия** \Rightarrow **Линии** и выберем в меню **Метод задания** “Задание по двум точкам”. Указывая соответствующие точки, создадим линии по осям жесткости ригелей, рис. 13.63.

Окончательный результат показан на рис. 13.64.

27. Следующее действие – создание конструктивных элементов с помощью команды **Геометрия** \Rightarrow **Конструктивные элементы**.

28. Если поле **Имя элемента** не заполняется, элементу присваивается стандартное имя.

Выбираем номер линии 1. Профиль конструктивного элемента рамы может быть либо сварным, либо стандартным прокатным сечением. В данном случае используются стандартные сечения. Привязку элементов будем проводить по нейтральной линии, рис. 13.65.

29. Для задания сечений конструктивного элемента нажимаем кнопку **Концевые сечения**, и на панели, рис. 13.66, выбираем номер стандартного двутавра. Нажимаем **Применить**, возвращаясь на панель **Создание конструктивных элементов**.

30. Аналогичными действиями создаем конструктивные элементы по всем остальным линиям, рис. 13.66

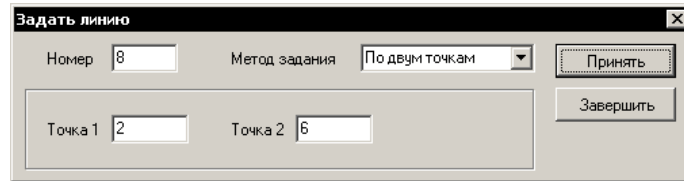


Рис. 13. 63

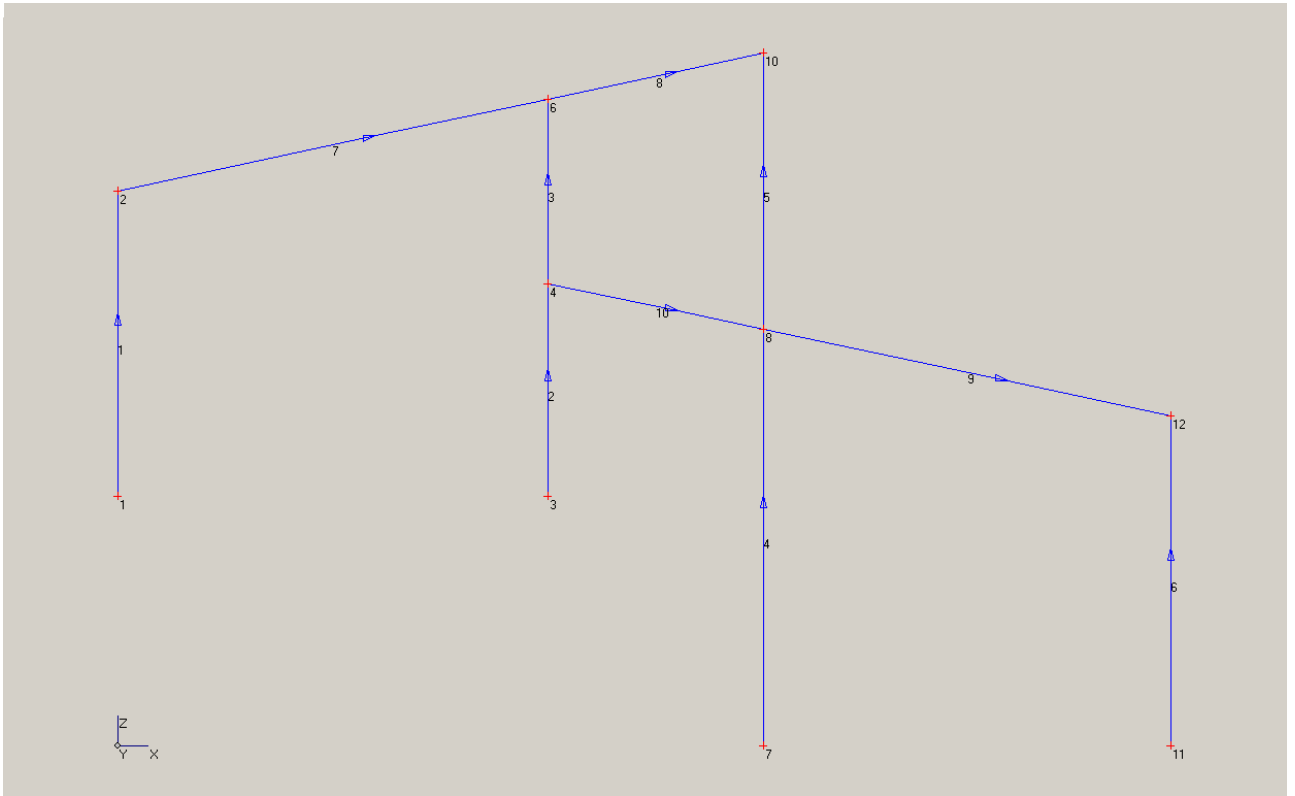


Рис. 13. 64

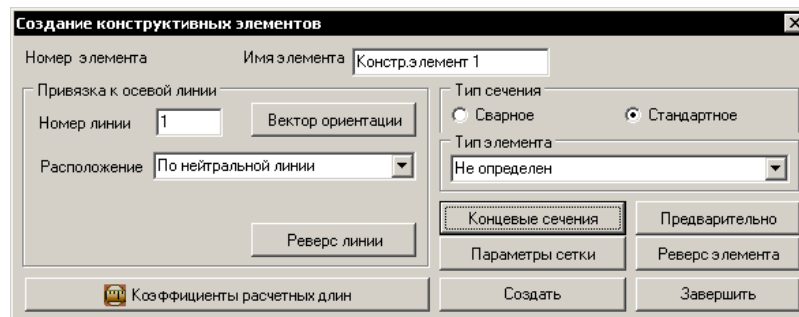


Рис. 13. 65

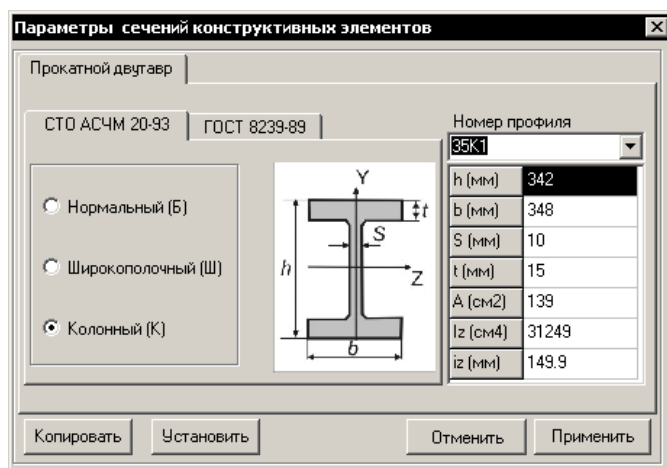


Рис. 13. 66

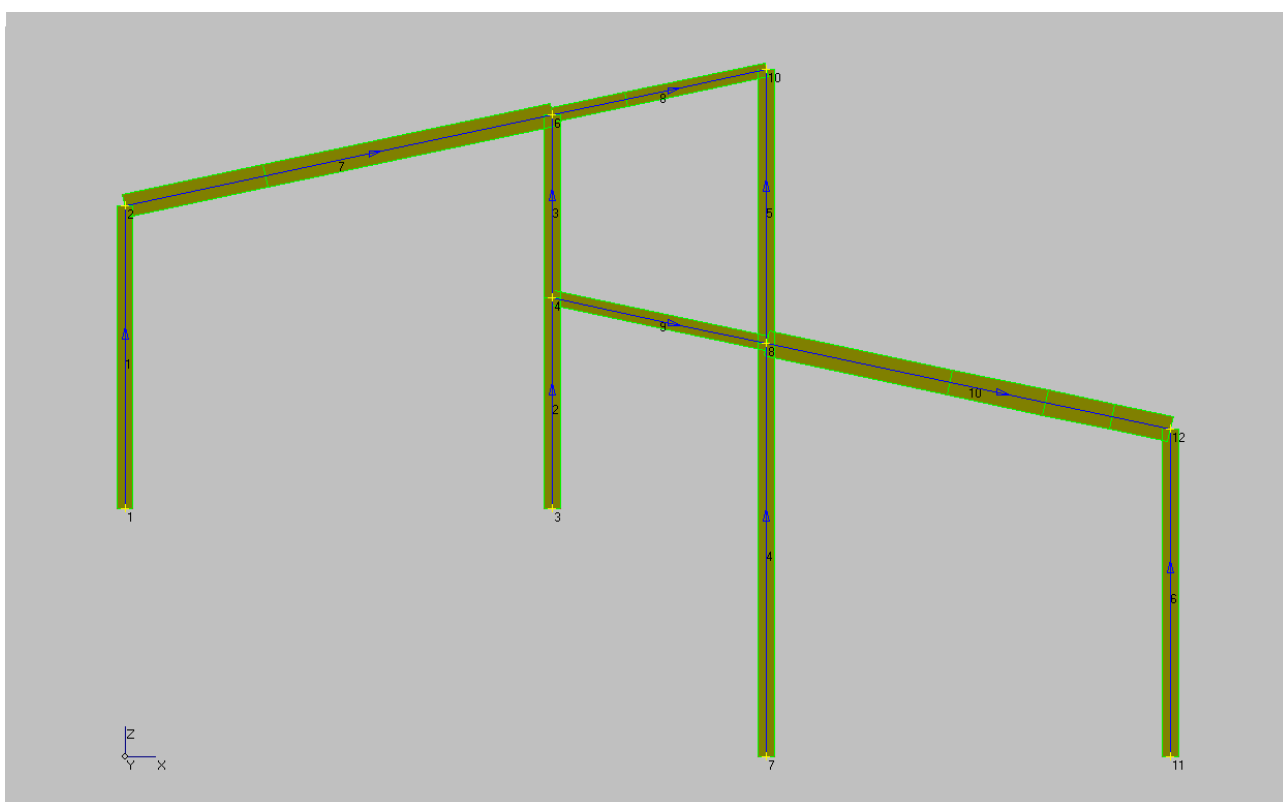


Рис. 13. 67

31. Задание геометрии узлов сопряжения конструктивных элементов: **Геометрия** ⇒ **Узлы сопряжений**. С помощью этой команды можно выполнить два действия:

- в узле сопряжения нескольких конструктивных элементов оси жесткостей могут не пересекаться в одной точке. Для того чтобы однозначно определить положение узла конечно-элементной сетки, можно выбрать либо два элемента и указать узел на пересечении их осей, либо выбрать один элемент и указать узел в ц.т. сечения;
- для узла сопряжения можно назначить конструктивное исполнение, выбрав его из выпадающего списка, рис. 13.68.

32. Для оснований колонн назначаем конструктивное исполнение “База колонны с моментным опиранием”, для узлов 2, 10, 12 назначаем “Опираание ригеля на колонну сбоку”.

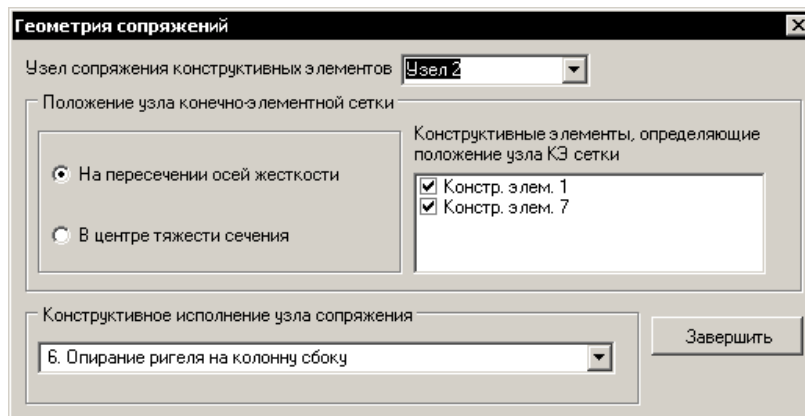


Рис. 13. 68

33. Задание закреплений: **Расчетная модель** ⇒ **Закрепления**. Переходим на вкладку **В узлах сопряжения**; **Номера...=1, 3, 7, 11** ; <**Заделка**>; (см. рис. 13.69) <**Принять**>; <**Завершить**>.

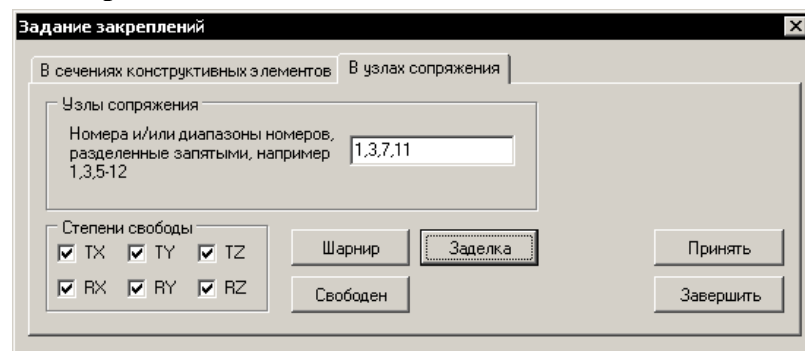


Рис. 13. 69

34. Задание шарниров в узлах: **Расчетная модель** ⇒ **Шарниры**. Переходим на вкладку **В узлах сопряжения**; **Номер узла сопряжения=2** ; <**Вращательный шарнир вокруг оси Y**>; **Номера...=1** ; (см. рис. 13.70) <**Принять**>; <**Завершить**>.

35. Повторяем это действие для узлов 4, 10 и 12, указывая номера элементов 9, 5 и 6 соответственно.

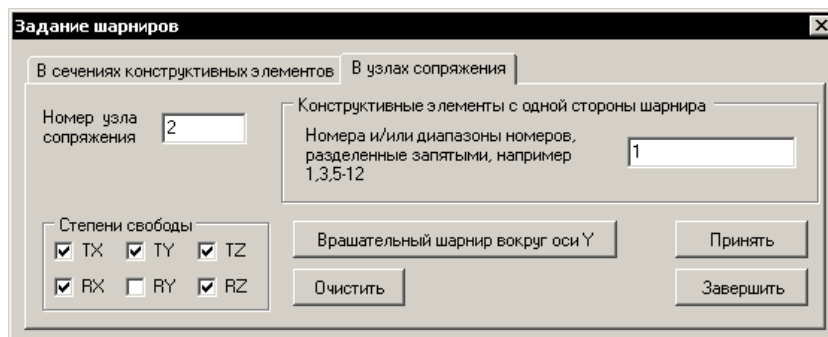


Рис. 13. 70

36. Задание шарниров в конструктивных элементах: Переходим на вкладку **В сечениях конструктивных элементов**; <**Вращательный шарнир вокруг оси Y**>;

37. Задаем шарнирное сочленение всех трех элементов в узле 6: **Номер конструктивного элемента=7**; **Сечение 2=Yes**; (см. рис. 13.71) **<Принять>**; **Номер конструктивного элемента=8**; **Сечение 1=Yes**; **<Принять>**;
38. Повторяем это действие для узла 8, указывая номера элементов 9, **Сечение 2=Yes** и 5, **Сечение 1=Yes** соответственно.

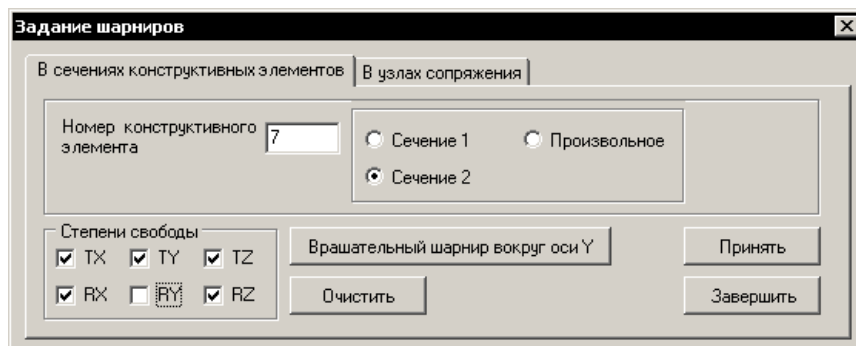


Рис. 13. 71

39. Создадим сетку конечных элементов, предварительно задав размер элементов 1000 мм: **Сетка** ⇒ **Параметры сетки модели**, рис. 13.72. **<Применить>**;
- Сетка** ⇒ **Стержневая модель**, рис. 13.73.

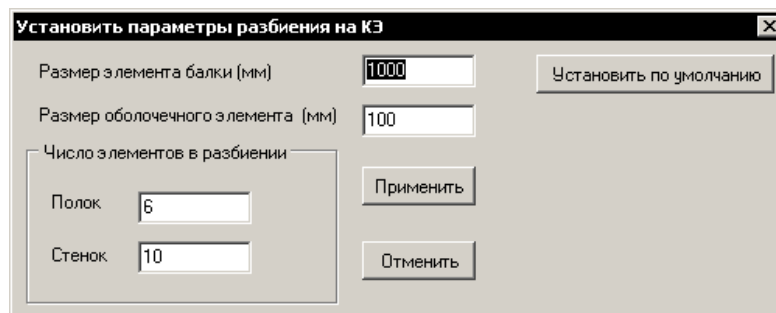


Рис. 13. 72

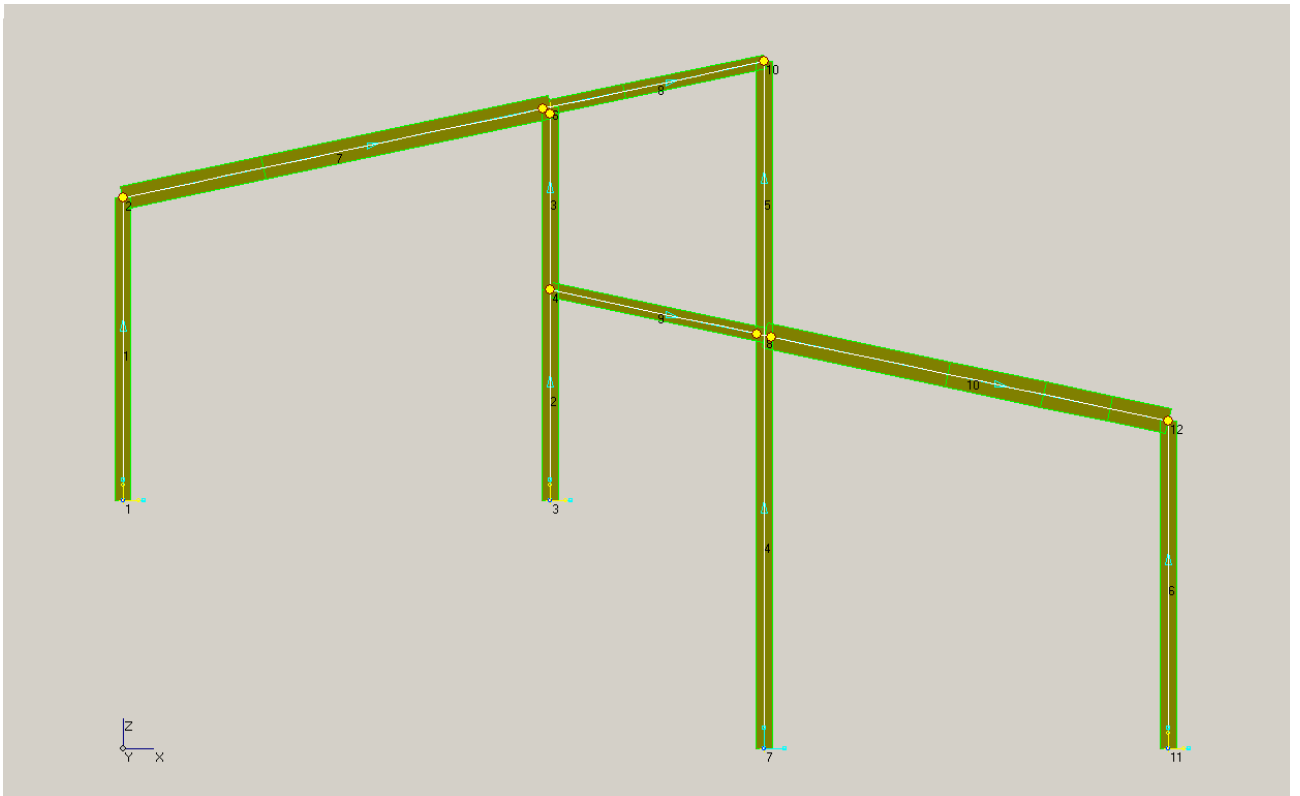


Рис. 13. 73

40. Перед заданием нагрузки нужно определить правую и левую колонны и правый и верхний ригели: **Геометрия** \Rightarrow **Общая геометрия рамы**, рис. 13.74;
41. **<Крайние колонны>**; Выберем элементы в соответствии с рис. 13.75; **<Применить>**;
42. **<Левый и правый ригели>**; Выберем элементы в соответствии с рис. 13.76; **<Применить>**;

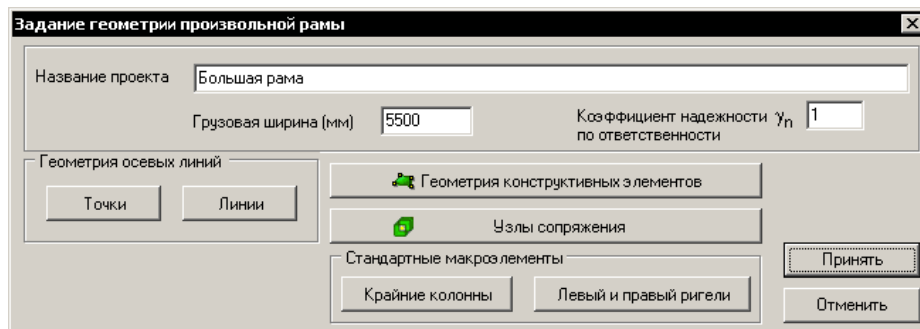


Рис. 13. 74

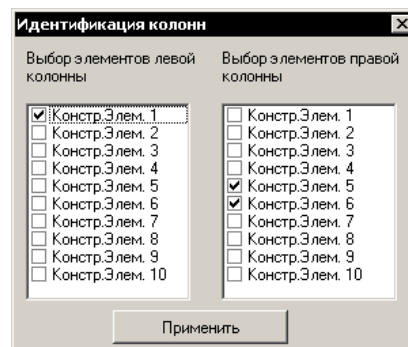


Рис. 13. 75



Рис. 13. 76

43. Создадим типовые загрузки. Для этого выполним команду **Расчетная модель** ⇒ **Типовые нагрузки**, рис 13.77. На панели **Нагрузки и воздействия** выберем опцию **СП 20.13330.2011**.
44. Коэффициент весовой нагрузки 1.3 учитывает вес прогонов, ребер, крепежа и т.п. После нажатия кнопки **Создать** переходим к следующему шагу - вкладке **Необходимые размеры**. Заносим в поля требуемые размеры, рис. 13.78, и нажимаем кнопку **Выполнить**.
45. Следующий шаг – создание постоянных нагрузок на ригели и колонны, рис. 13.79.
46. Шаг 4 – создание ветровых загрузений. В соответствии с СП 20.13330.2011 таких загрузений четыре: ветер слева и ветер справа, ветер в торец в положительном и отрицательном направлении оси Y (ветер в торец+ и ветер в торец-). По умолчанию ветровые нагрузки создаются с учетом пульсационной составляющей, рис. 13.80. Величина δ_N необходима для вычисления полной высоты здания с учетом прогонов и перекрытий.
47. Шаг 5 – создание снеговых загрузений. В соответствии с СП 20.13330.2011 таких загрузений два: снег на левый и снег на правый ригель, рис. 13.81. При создании снеговых загрузений требуется подтвердить коэффициент снижения нагрузок, т.к. средняя температура января задана -20°C , рис. 13.82. Отвечаем **Нет**. После создания снеговых загрузений нажимаем кнопку **Завершить**. Типовые загрузки созданы, рис. 13.83.

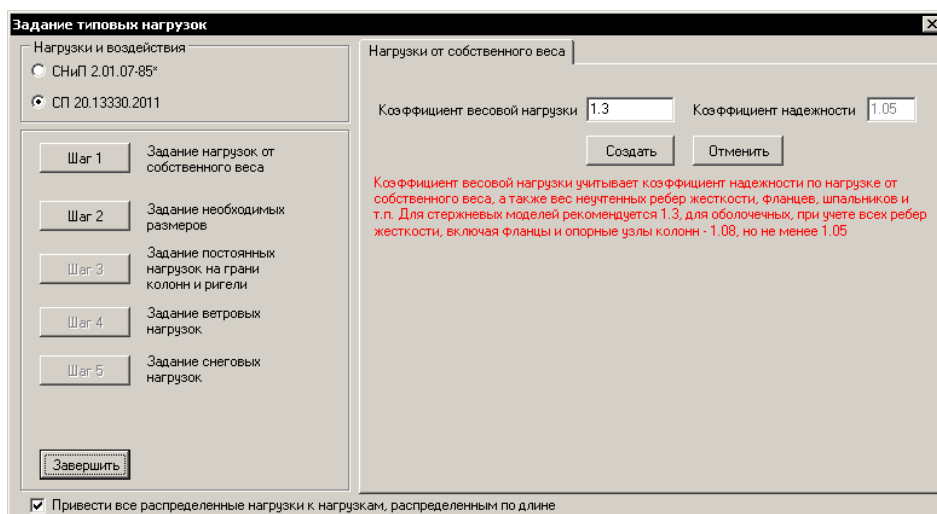


Рис. 13. 77

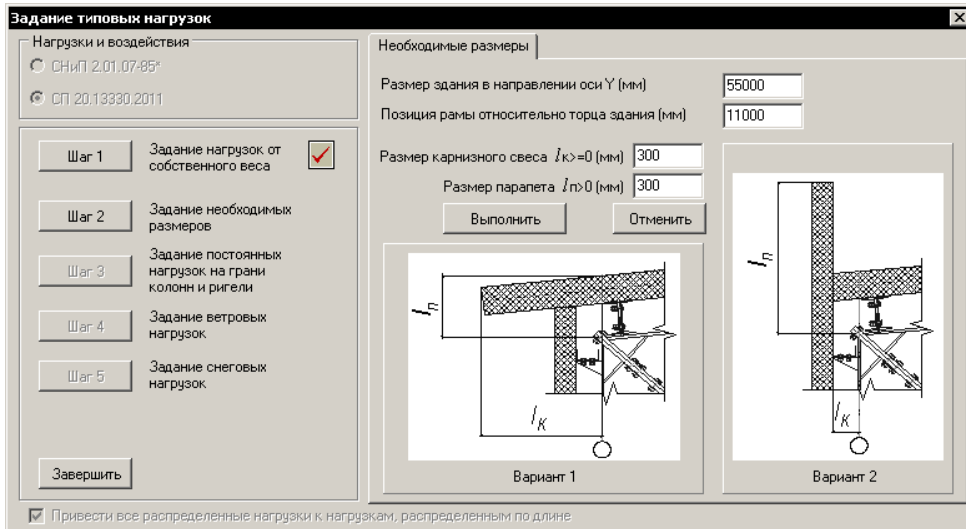


Рис. 13. 78

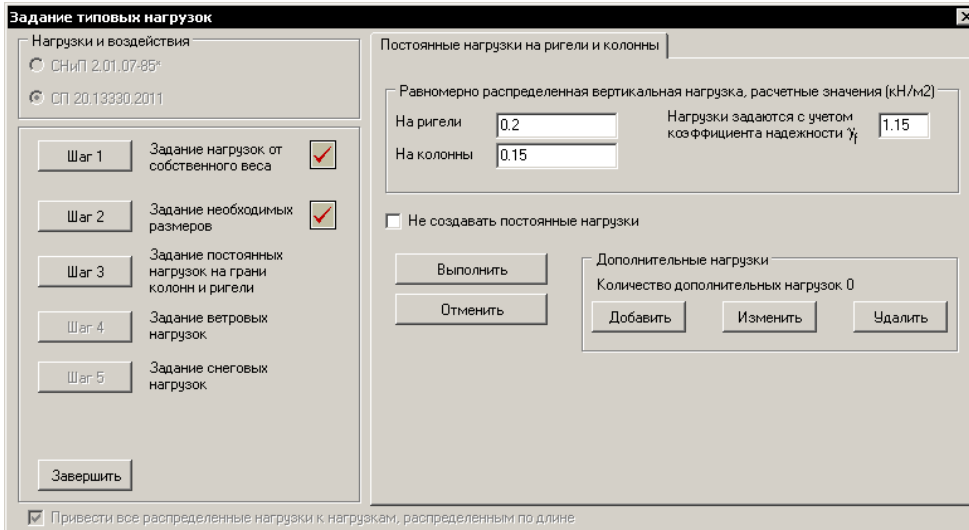


Рис. 13. 79

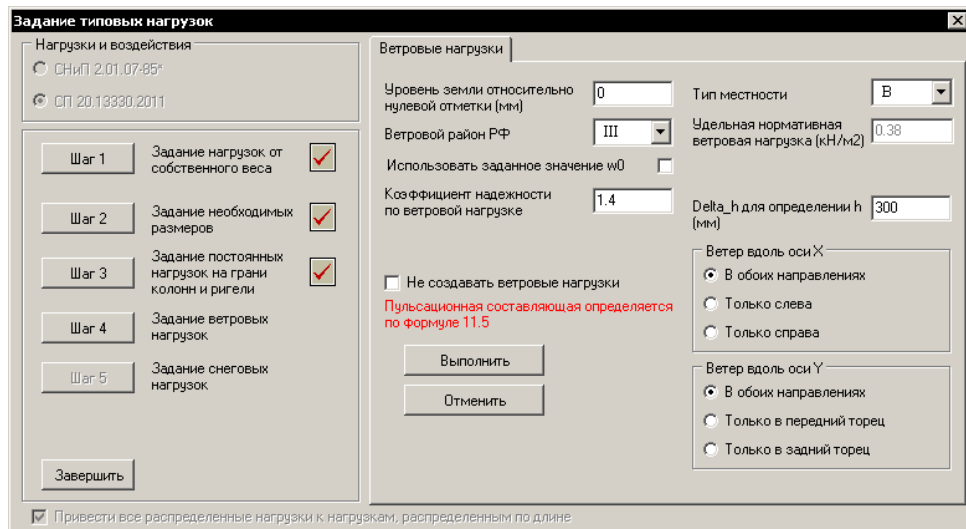


Рис. 13. 80

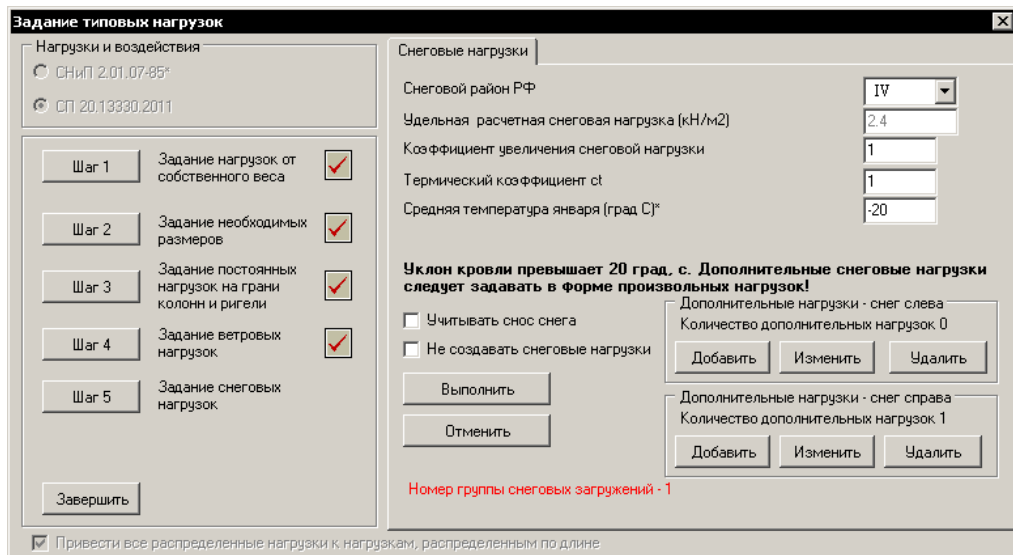


Рис. 13. 81

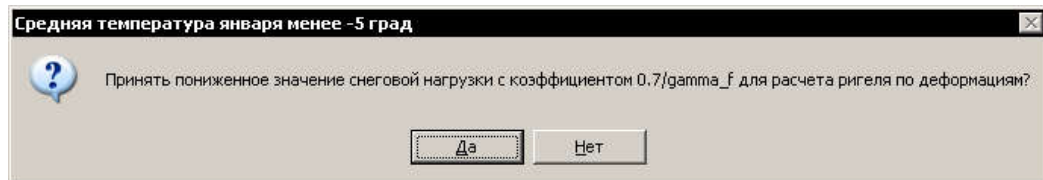


Рис. 13. 82

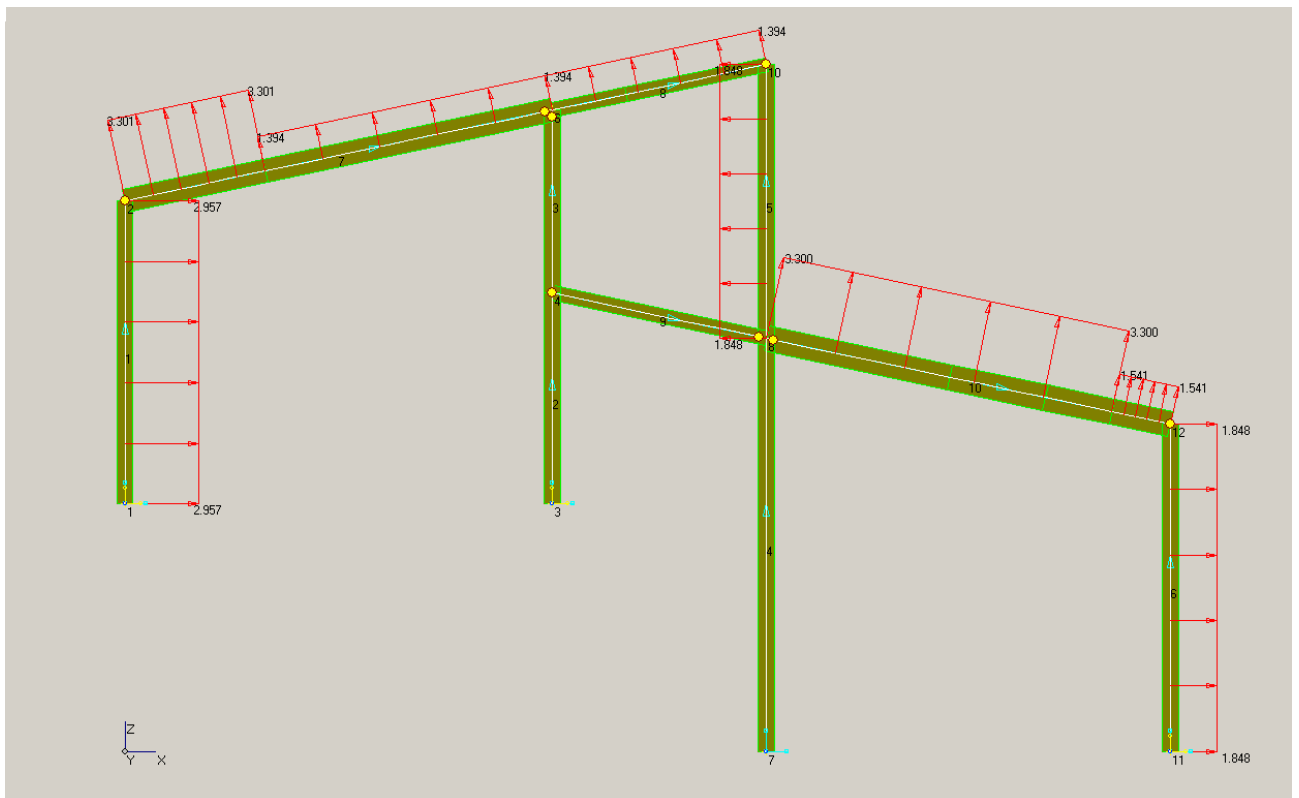


Рис. 13. 83

48. Сохраним проект под именем “Рама_пример_произвольная_рама.pwk” командой **Файл ⇒ Сохранить**

14. Установка и сопровождение программы

Для установки программы Гепард-А на компьютере с операционными системами Windows XP и Windows 7/8/10 необходимо выполнить следующие действия:

1. Запустить установочный файл SetupGepard 4.1.exe и установить Гепард-А.
2. При работе в операционной системе Windows 7/8/10 необходимо в окне **Свойства** файла Gepard-A_3D.exe (открывается щелчком правой кнопки мыши) на вкладке **Совместимость** включить опцию **Запустить программу в режиме совместимости** и выбрать в списке *Windows XP*, рис. 14.1.

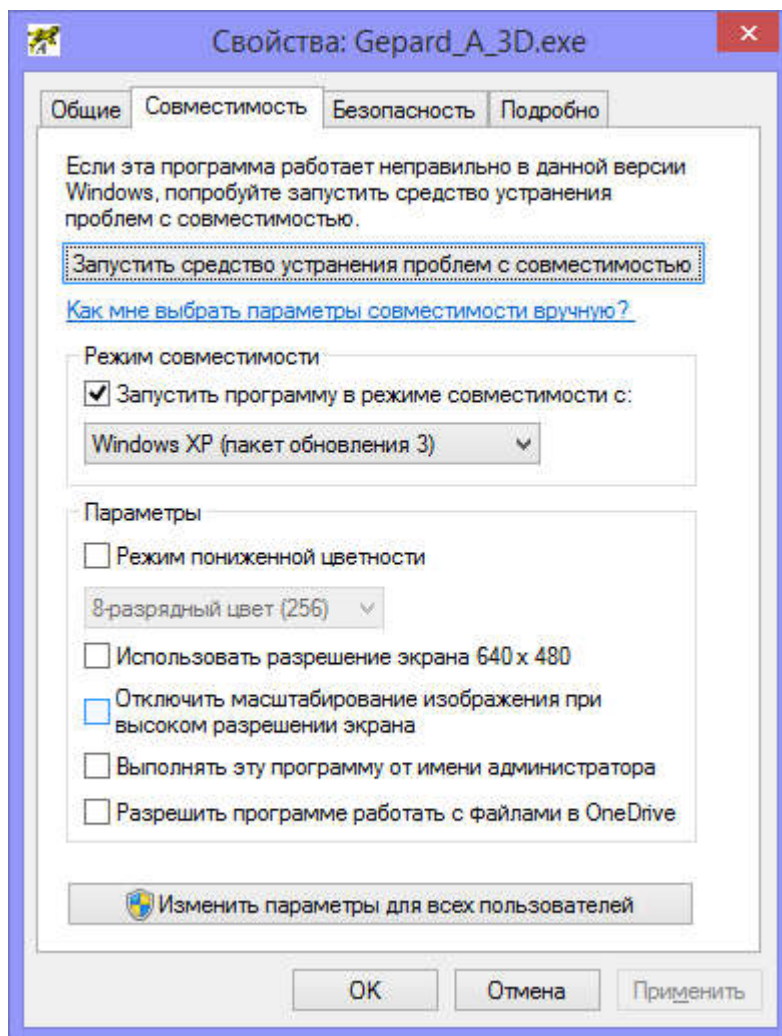


Рис. 14.1.

3. Запустить программу Gepard-A.exe. После запуска программы возможно появление сообщения, рис. 14.2. После нажатия кнопки **ОК** программа продолжает работу в демонстрационном режиме.

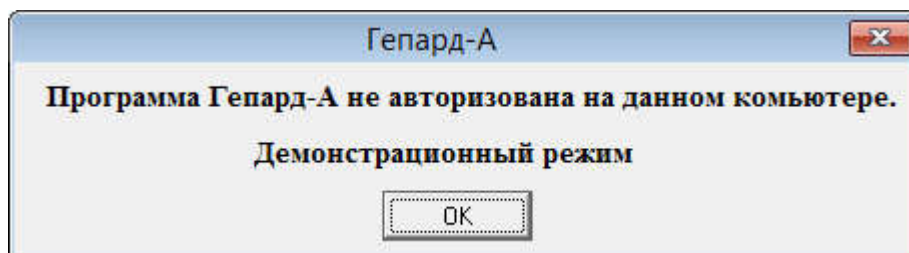


Рис. 14.2

- Чтобы перейти в полноценный режим работы программы, необходимо ее активизировать на данном компьютере. Для этого нужно выполнить следующие действия:
- Выполнить одну из команд **Справка** ⇒ **О программе** или **Справка** ⇒ **Активация программы**, нажать на кнопку **<Получить код авторизации>**, рис. 14.3.
- Скопировать *код авторизации* и переслать его Администратору по адресу rychkovsp2008@mail.ru

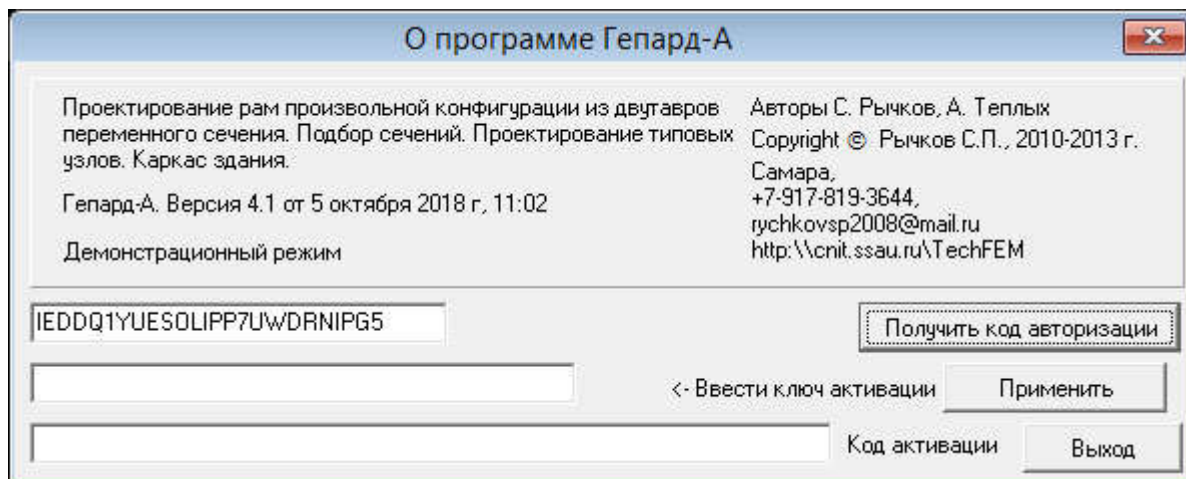


Рис. 14.3

- Получить от Администратора *ключ активации* вставить его в соответствующее поле и нажать кнопку **<Применить>**.
- Если действия п. 5, 6, 7 были выполнены корректно, в диалоговом окне появится сообщение о полноценном режиме работы, рис. 14.4.

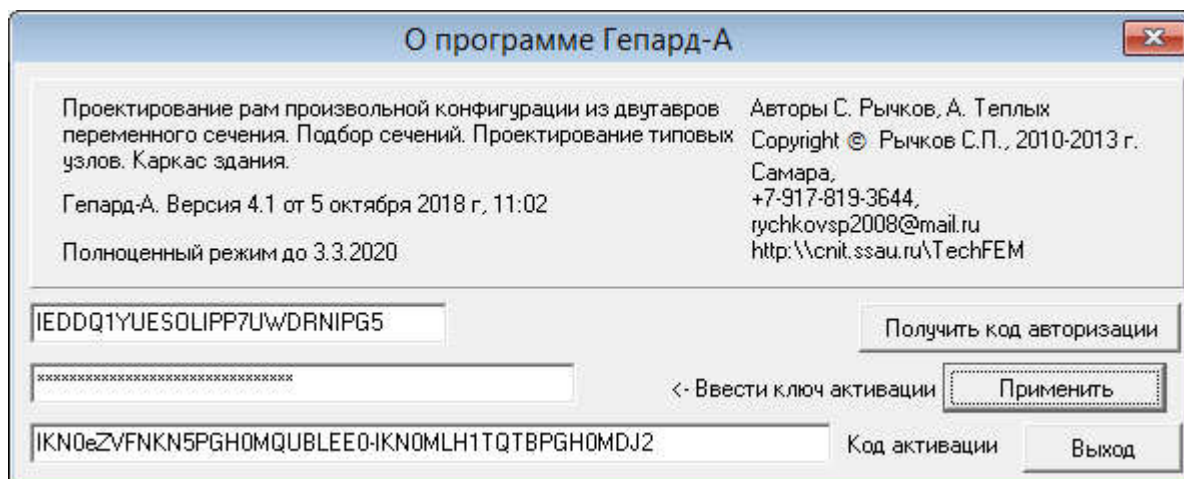


Рис. 14.4

- Код активации* следует также переслать Администратору.
- Если после ввода ключа активации программа не перешла в полноценный режим, *код активации* следует обратиться к Администратору для выяснения причины.
- Ключ активации* следует сохранить, чтобы затем использовать его для активизации программы Гепард-А при ее перемещении в другую папку того же компьютера. При обновлении версии в той же папке полноценный режим работы сохраняется.

12. При нарушении целостности содержимого папки, в которой находится программа, переносе программы на другой компьютер или при изменении конфигурации компьютера программа переходит в режим демо-версии.

14.1 Деактивация программы

Деактивация программы выполняется с помощью команды **Справка** ⇒ **Деактивация программы**, и может потребоваться, например, для того, чтобы ввести ключ активации с продленным сроком действия лицензии.

14.2 Демонстрационный режим работы

В этом режиме доступны все функции для типовой однопролетной двускатной рамы с жестким опиранием колонн на фундамент, шарнирным опиранием ригеля на колонны, и с пролетом не более 18 м со следующими отключенными функциями:

- расчет поясных швов;
- задание крановых и произвольных нагрузок;
- формирование нагрузок на фундаменты;
- конвертирование типовых рам в произвольную;
- проектирование изолированных узлов;
- разбиение сеткой оболочечных элементов;
- задание групп сечений;
- назначение стандартных сечений;
- вывод протоколов и отчетов в формате Word.

14.3 Сопровождение программы

По всем вопросам, связанным с корректной работой программы Гепард-А следует обращаться к Разработчику программы:

e-mail rychkovsp2008@mail.ru

тел. +7-917-819-36-44

15. Утилита формирования задания на фундаменты и расчета опорных узлов для моделей SCAD

С помощью утилиты подготовки задания на фундаменты, работающей в связке со SCAD через API, на основе РСУ трехмерной модели SCAD выполняются подготовка задания на фундаменты и расчет опорных узлов в режиме сквозного проектирования. Утилита формирования заданий на фундаменты является универсальной и может работать с любой моделью SCAD. Результатом работы утилиты являются таблицы нагрузок на фундаменты, рассчитанные опорные узлы, схемы привязки и параметры фундаментных болтов.

Для использования утилиты **FundamentScad** необходимо в модели Scad создать группы унификации РСУ стержневых элементов, по которым будут выводиться нагрузки на фундаменты. Наименования групп должны соответствовать наименованиям опорных плит в таблице нагрузок.

В группе, во-первых, должны быть элементы, закрепленные по условиям опирания на грунт, во-вторых, эти элементы должны иметь одинаковые двутавровые сечения – либо стандартные, либо сварные. В Scad должен быть выполнен статический расчет.

Перед началом работы с утилитой необходимо задать директорию размещения результатов SCAD (папку SWORK) с помощью команды **Файл ⇒ Установить путь к папке SWORK**.

Выполнение расчета начинается либо с открытия файла модели SCAD командой **Файл ⇒ Новый проект - открыть файл модели SCAD**, либо с открытия существующего файла проекта командой **Файл ⇒ Открыть проект**.

После открытия файла модели SCAD конфигурация диалогового окна утилиты принимает вид, показанный на рис. 15.1.

Перед получением нагрузок необходимо выполнить команду **Инструменты ⇒ Задать комбинацию постоянных загружений** с тем, чтобы скорректировать РСУ, импортированные из SCAD, в соответствии с требованиями табл. 15.1.

Пользователь также может заранее задать дополнительные комбинации загружений, назначив их по своему разумению.

Расчет выполняется для выбранной группы командой **Инструменты ⇒ Выполнить расчет нагрузок**. После выполнения расчета в нижней части окна выводятся РСУ для данной группы и Таблица уникальных РСУ с учетом всех загружений.

Результат расчета в формате Word выводится командой **Вывод ⇒ Вывести таблицу нагрузок в файл Word**:

Таблица нагрузок на фундаменты

Модель C:\Gepard_All\Gener_under\Fundament\Томск\Рама по оси 21.SPR

Таблица РСУ с учетом всех загружений

Местоположение	Марка базы	Правило знаков	N [кН]	±My [кНм]	±Qz [кН]	±Mz [кНм]	±Qy [кН]	Критерии и примечания
Место 1	Фундаменты 2 группы		-466.2	172.61	-2.0	0.00	0.0	Нсж; (Нсж.+Qy)
			-436.6	325.72	-43.4	0.00	0.0	Q; Qz; (Нсж.+Qz); (Нсж.+Q)
			-436.6	325.72	-43.4	0.00	0.0	s-
			-370.5	325.72	-43.4	0.00	0.0	s+

В заключение, для группы элементов может быть выполнен расчет базы колонн с использованием команды **Инструменты** ⇒ **Выполнить расчет опорных узлов**, которая аналогична команде Гепард-А.

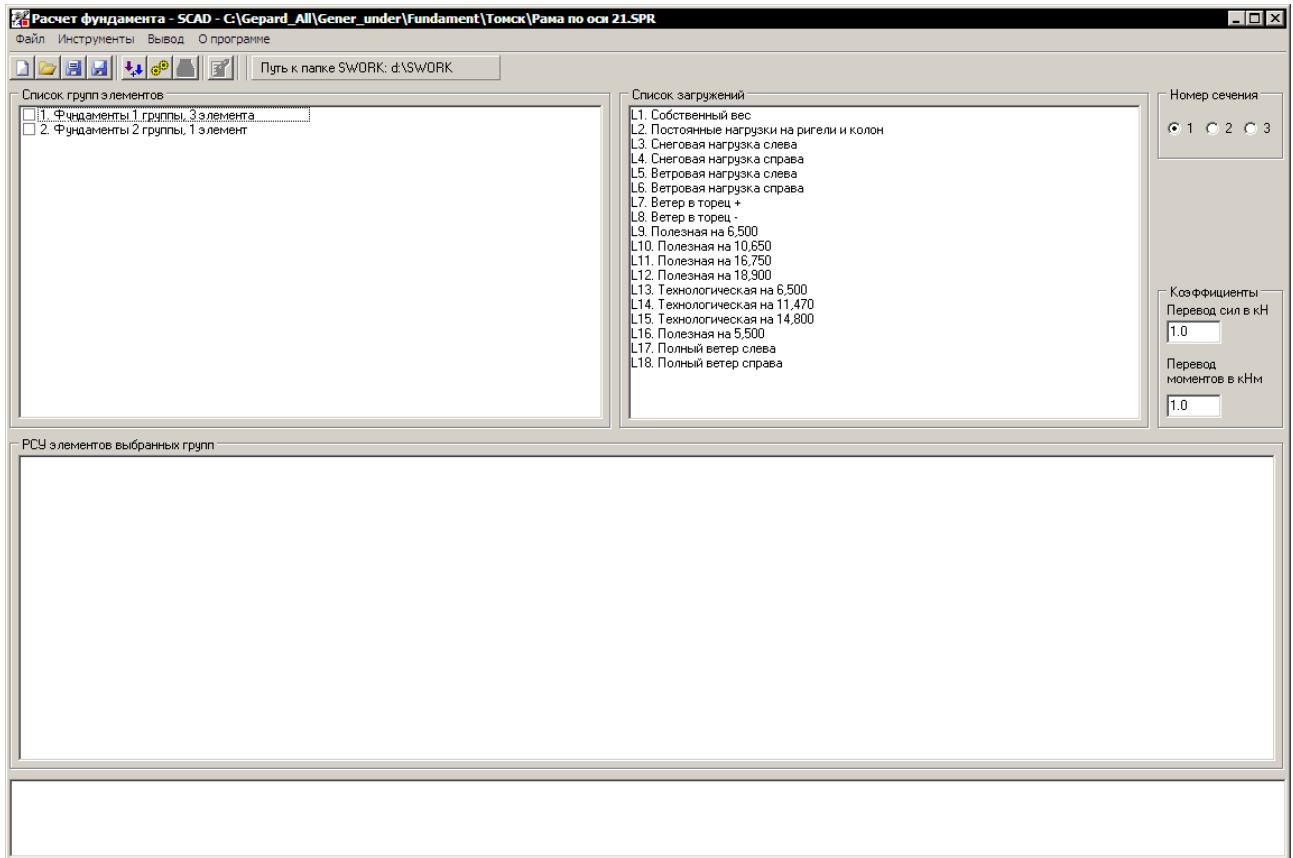


Рис. 15. 1. Панель утилиты расчета фундаментов

15.1. Критерии отбора сочетаний нагрузок.

Для выбора по критериям σ^+ используются номера критериев PCY Scad 1, 3, 5, 7, по критериям σ^- используются номера критериев PCY Scad 2, 4, 6, 8.

Табл. 15.1.

№	Критерии отбора сочетаний	Обозначение	Назначение и особенности формирования сочетания
1	Максимальное растяжение в угловых точках сечения колонны.	σ^+	<p>Для расчета фундаментных болтов и размеров подошвы фундамента по условию отрыва подошвы и армирования подколонника.</p> <p>Согласно п. 7.4. СП 20.13330.2011 постоянные нагрузки необходимо принять с коэффициентом надежности $\gamma_f=0,9$. В PCY постоянные нагрузки входят с коэффициентом γ_{f0} (обычно принимается $\gamma_{f0}=1,15$).</p> <p>Поэтому в задании на фундаменты нормальная сила корректируется по следующей формуле</p> $N_f = N_{RSU} - (\gamma_{f0} - 0.9) \cdot N_{const} / \gamma_{f0}$ <p>Здесь N_f - усилие для расчета опорного узла и фундамента;</p>

№	Критерии отбора сочетаний	Обозначение	Назначение и особенности формирования сочетания
			N_{RSU} - усилие из РСУ; N_{const} - усилие от комбинации постоянных нагрузок
2	Максимальное сжатие в угловых точках сечения колонны.	σ -	Для расчета подошвы фундамента по расчетному сопротивлению грунта под подошвой, армирования подколонника, прочности подливки под опорной плитой, армирования плитной части и устойчивости основания.
3	Максимальное сжимающие усилие N в колонне	$N_{сж}$	Для расчета осадок фундамента.
4	Максимальное из абсолютных значений суммы $N_{раст}+Q$	$(N_{раст}+Q)$	Для расчета на сдвиг опорной плиты и необходимости установки противосдвиговых элементов. $N_{раст} = N_{RSU} - (\gamma_{f0} - 0.9) \cdot N_{const} / \gamma_{f0}$
5	Максимальное значение разности $(Q-0,25N_{сж})$	$(Q-0,25N_{сж})$	Для расчета на сдвиг опорной плиты и необходимости установки противосдвиговых элементов. $N_{сж} = N_{RSU} - (\gamma_{f0} - 0.9) \cdot N_{const} / \gamma_{f0}$
6	Максимальное Q_x	Q_x	В некоторых случаях может оказаться критичной при расчете на сдвиг опорной плиты и необходимости установки противосдвиговых элементов, подошвы фундамента на отрыв или по расчетному сопротивлению
7	Максимальное Q_y	Q_y	В некоторых случаях может оказаться критичной при расчете на сдвиг опорной плиты и необходимости установки противосдвиговых элементов, подошвы фундамента на отрыв или по расчетному сопротивлению
8	Максимальное	Q	В некоторых случаях может оказаться критичной при расчете на сдвиг опорной плиты и необходимости установки противосдвиговых элементов, подошвы фундамента на отрыв или по расчетному сопротивлению
9	Максимальное из абсолютных значений суммы $N_{раст}+Q_y$	$(N_{раст}+Q_y)$	Для расчета на сдвиг опорной плиты и необходимости установки противосдвиговых элементов. $N_{раст} = N_{RSU} - (\gamma_{f0} - 0.9) \cdot N_{const} / \gamma_{f0}$ Q_y берется со знаком плюс
10	Максимальное из абсолютных значений суммы $N_{сж}+Q_x$ $N_{сж}$ со знаком +	$(N_{сж}+Q_x)$	При шарнирном опирании колонн для расчета подошвы фундамента по расчетному сопротивлению грунта под подошвой, армирования подколонника, прочности подливки под опорной плитой, армирования плитной части и устойчивости основания.
11	Максимальное из абсолютных значений суммы $N_{сж}+Q_y$ $N_{сж}$ со знаком +	$(N_{сж}+Q_y)$	При шарнирном опирании колонн для расчета подошвы фундамента по расчетному сопротивлению грунта под подошвой, армирования подколонника, прочности подливки под опорной плитой, армирования плитной части и устойчивости основания.
12	Максимальное из абсолютных значений суммы $N_{сж}+Q_y$ $N_{сж}$ со знаком +	$(N_{сж}+Q_y)$	При шарнирном опирании колонн для расчета подошвы фундамента по расчетному сопротивлению грунта под подошвой, армирования подколонника, прочности подливки под опорной плитой, армирования плитной части и устойчивости основания.
13	Максимальное из абсо-	$(N_{сж}+Q)$	При шарнирном опирании колонн для расчета подошвы фунда-

№	Критерии отбора сочетаний	Обозначение	Назначение и особенности формирования сочетания
	лютных значений суммы $N_{сж+Q}$ $N_{сж}$ со знаком +		мента по расчетному сопротивлению грунта под подошвой, армирования подколонника, прочности подливки под опорной плитой, армирования плитной части и устойчивости основания.

16. Утилита выполнения проверок в соответствии с СП 16.13330.2011 для моделей SCAD

С помощью утилиты выполнения проверок, которая работает в связке со SCAD через API, на основе РСУ трехмерной модели SCAD выполняются проверки прочности и устойчивости в соответствии с СП 16.13330.2011. “Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*”.

Утилита является универсальной и может работать с любой моделью SCAD, с элементами, имеющими двутавровое сечение. Результатом работы утилиты являются таблицы коэффициентов использования, рассчитанные для элементов, классифицированных по виду напряженного состояния

Для использования утилиты **CheckScad** необходимо в модели Scad создать группы унификации РСУ стержневых элементов, по которым будут выполняться проверки.

Элементы группы должны иметь одинаковые двутавровые сечения – либо стандартные, либо сварные. Допускаются участки с монотонно изменяющейся высотой стенки. В Scad должен быть выполнен статический расчет.

Перед началом работы с утилитой необходимо задать директорию размещения результатов SCAD (папку SWORK) с помощью команды **Файл ⇒ Установить путь к папке SWORK**.

Выполнение расчета начинается либо с открытия файла модели SCAD командой **Файл ⇒ Новый проект - открыть файл модели SCAD**, либо с открытия существующего файла проекта командой **Файл ⇒ Открыть проект**.

После открытия файла модели SCAD конфигурация диалогового окна утилиты принимает вид, показанный на рис. 16.1.

Пользователь также может заранее задать дополнительные комбинации загрузений, назначив их по своему разумению.

Расчет выполняется по шагам. На первом шаге выбирается группа для проверки. На Шаге 2 задаются параметры проверок. С учетом заданных параметров и РСУ для элементов группы на Шаге 3 выполняется классификация элементов по виду напряженного состояния, и составляются и отображаются списки проверок, которые пользователь может скорректировать, вернувшись к Шагу 2.

После нажатия кнопки **Шаг 4** рядом с наименованием проверки появляется соответствующий коэффициент использования. Выполнив Шаг 5, пользователь может получить таблицу РСУ и параметров, при которых выполнялись проверки.

После выполнения проверок для нескольких групп может быть выведен сводный отчет по группам в формате Word – кнопка **Вывод сводного отчета**.

Проект, содержащий исходные данные для групп элементов, может быть сохранен в файле проектов и открыт при следующем обращении к утилите.

16.1. Классификация элементов по виду напряженного состояния.

Под элементами при выполнении проверок имеются в виду конечные элементы, которые относятся к одной из следующих групп НДС в соответствии с таблицей 16.1. В пределах конструктивных элементов напряженное состояние по их длине может меняться. В каких-то зонах конструктивный элемент может быть центрально-сжатым, в других сжато-изгибаемым

(например колонна постоянного сечения с жесткой заделкой внизу и шарнирным опиранием ригеля сверху, внизу работает как сжато-изгибаемый элемент, а сверху как центрально-сжатый), однако при этом какая-то зона с соответствующим напряженным состоянием является определяющей для параметров сечения конструктивных элементов.

Таблица 16.1. Критерии отнесения элементов к группам по виду напряженного состояния

№ п.п.	Наименование группы элементов	Критерии
1	Центрально-растянутые	$M=0$ и $N>0$;
2	Центрально-сжатые	$N<0$ и $\frac{M}{N} \leq \frac{i}{20} + \frac{l_{ef}}{750}$
3	Изгибаемые (балки)	$M \neq 0$ и $N \neq 0$ и $m > 20$ для сквозных стержней и $m_{ef} > 20$ для сплошных стержней
4	Растянуто-изгибаемые (внецентренно-растянутые)	$M \neq 0$ и $N > 0$ и $m \leq 20$ для сквозных стержней и $m_{ef} \leq 20$ для сплошных стержней
5	Сжато-изгибаемые (внецентренно-сжатые)	$M \neq 0$ и $N < 0$ и $m \leq 20$ и для сквозных стержней и $m_{ef} \leq 20$ для сплошных стержней

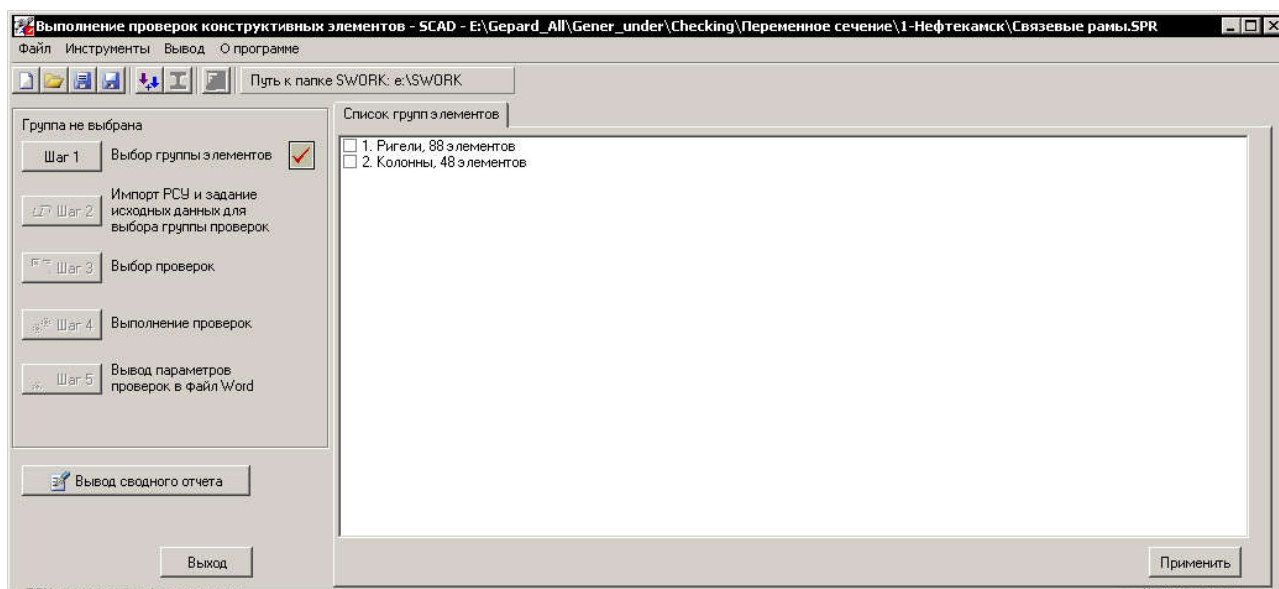


Рис. 16. 1 Панель утилиты выполнения проверок. Выбор группы

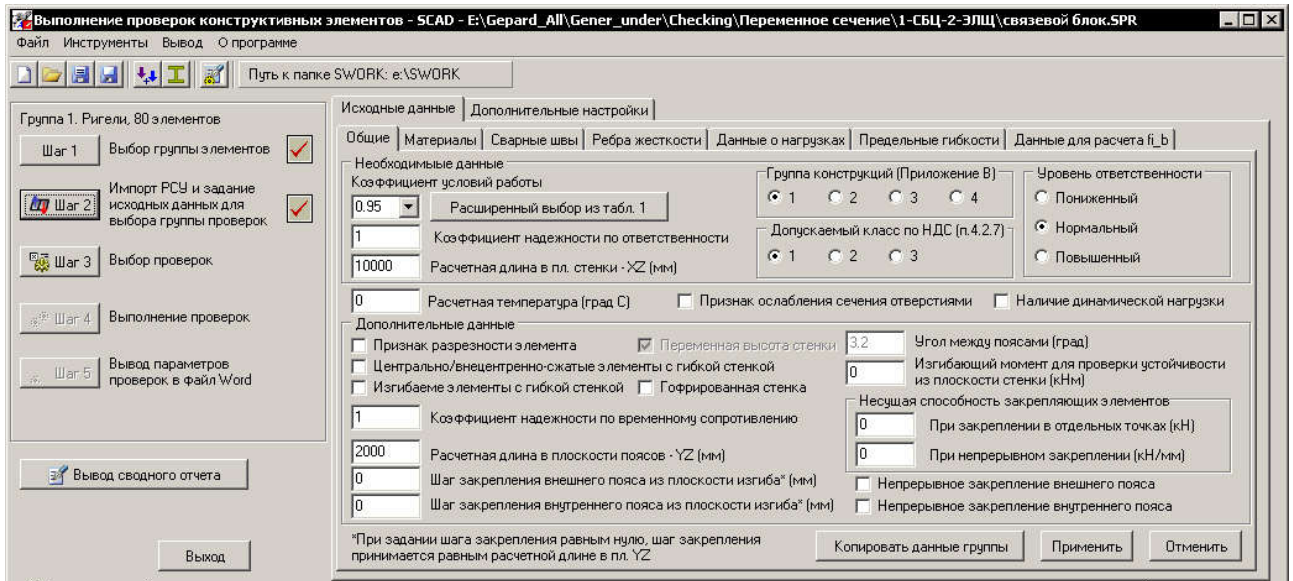


Рис. 16. 2 Панель утилиты выполнения проверок. Задание исходных данных для проверок

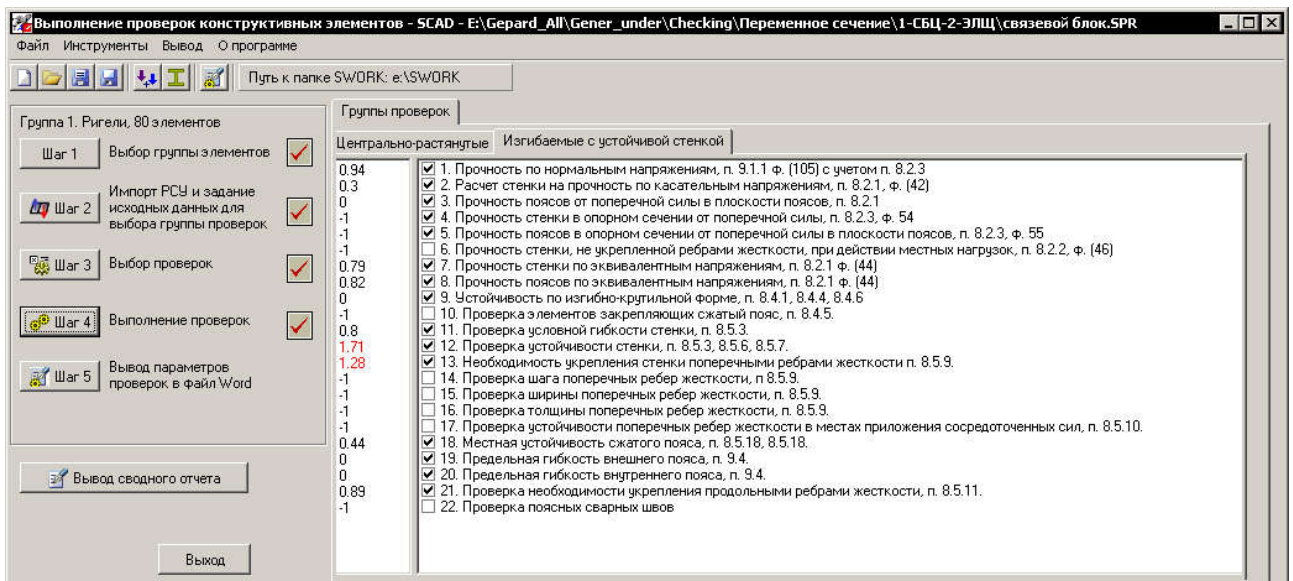


Рис. 16. 3 Панель утилиты выполнения проверок. Результаты проверок

Приложение. Примеры отчетов

1. Отчет по проектированию базы колонны

Расчет узла опирания колонны с ребрами усиления опорной плиты

Принятое жесткое сопряжение колонн с фундаментами обеспечивается установкой анкерных болтов в плоскости действия момента в соответствии с конструктивным решением, представленным на рис. 1.

Коэффициент условий работы узла

$$\gamma_c = 1 \text{ (согласно п. 4* [5])}$$

Требуемый набор проверок при расчете базы колонны представлен в таблице 1.

Таблица 1. Требуемый набор проверок при расчете базы колонны.

№ п.п.	Наименование проверки	Ссылка на нормативные документы и рекомендуемую литературу
1	Проверка прочности бетона под краем базы колонны на сжатие	Напряжение вычисляется по формулам сопротивления материала по методике, изложенной на стр. 412 [8] или стр. 356-361 [7]
2	Выбор марки стали фундаментных болтов и класса прочности гаек и подбор сечения анкерных болтов	Марка стали анкерного болта назначается по таблице 2 [11], класс прочности гаек согласно п. 2.6* [5]. Расчет фундаментных болтов производится по методике изложенной в [8] (стр. 412-414) или [7] (стр. 356-361)
3	Расчет прочности опорной плиты	Толщина опорной плиты подбирается по методике, изложенной в [8], стр. 404-406)
4	Определение необходимости установки противосдвиговых элементов	По формуле (17) [11]
5	Расчет прочности сварных швов	Согласно п.п. 11.1*-11.5 [5]

Размеры сечения колонны

Высота сечения $H_c = 370$ мм;

Ширина полки $B_c = 200$ мм;

Толщина стенки $t_w = 8$ мм;

Толщина полки $t_f = 10$ мм;

Принятые параметры материала и коэффициенты

Марка стали С255, табл. 51*[5].

Расчетное сопротивление стали при толщинах листа от 10 до 20 мм:

- нормативное сопротивление $R_{tm} = 370$ МПа;
- растяжению, сжатию, изгибу $R_y = 240$ МПа;
- сдвигу $R_s = 0.58R_y = 139.2$ МПа;

Коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 0.95$;

Расчетные сочетания усилий

При расчете опорного узла используются расчетные сочетания усилий, действующие в нижнем сечении колонны и выбранные по следующим критериям:

1. Максимальное сжимающее напряжение в центре тяжести сечения, соответствует максимуму сжимающего усилия N ;

2. Максимальное касательное напряжение в стенке, соответствует максимуму перерезывающей силы Q ;
3. Максимальное сжимающее напряжение во внешних волокнах сечения;
4. Максимальное растягивающее напряжение во внешних волокнах сечения.

В таблице 2 приведены расчетные сочетания усилий:

- взятые из расчета по КЭ-модели;
- с учетом умножения сжимающих усилий на коэффициент $k_N = 0.9$ для расчета анкерных болтов.

Таблица 2. Расчетные сочетания нагрузок

Вариант	Критерий	N кН	M кНм	Q кН
1. КЭ-модель	Максимум N	-272.5	12.23	8.7
	Максимум Q	-166.2	69.04	22.2
	Минимум Sigma	-217.1	107.51	19.8
	Максимум Sigma	-115.3	105.71	20.3
2. Расчет с 1.0*N	Максимум N	-272.5	14.06	10.0
	Максимум Q	-166.2	79.40	25.5
	Минимум Sigma	-217.1	123.64	22.8
	Максимум Sigma	-115.3	121.57	23.3
3. Расчет с 0.9*N	Максимум N	-245.3	14.06	10.0
	Максимум Q	-149.6	79.40	25.5
	Минимум Sigma	-195.4	123.64	22.8
	Максимум Sigma	-103.8	121.57	23.3

Нормативные данные для расчета сварных швов

$$\beta_f = 0.7, \beta_z = 1.$$

(принято по минимуму в запас, при этом допускается не указывать в рабочих чертежах вид сварки, положение шва, диаметр сварочной проволоки).

Расчетное сопротивление по металлу шва по табл. 56* [5] для сварочной проволоки Св-08Г2С:

$$R_{wf} = 215 \text{ МПа.}$$

Расчетное сопротивление по металлу границы сплавления:

$$R_{wz} = 0.45R_{um} = 0.45 \cdot 370 = 167 \text{ МПа (согласно табл. 3 [5] для стали С255);}$$

Расчетное сопротивление стыковых соединений сжатию, растяжению, изгибу по пределу текучести согласно табл. 3 [5] для толщин листа от 10 до 20 мм:

$$R_{wy} = 0.85R_y = 0.85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа.}$$

Расчетное сопротивление стыковых соединений сдвигу при отсутствии УЗК для толщин листа от 10 до 20 мм:

$$R_{ws} = 0.85R_s = 118.3 \text{ МПа.}$$

$$\text{Коэффициент } \gamma_{wf} = 1.0.$$

$$\text{Коэффициент } \gamma_{wz} = 1.0.$$

Параметры фундамента

Предварительно выбираем класс прочности бетона фундамента В 12.5 с расчетным сопротивлением сжатию $R_b = 7.5$. При расчете размеров плиты считаем, что отношение площади верхнего обреза фундамента к площади опорной плиты $A_f / A_p = 1.00$.

Расчетное сопротивление бетона смятию R_{bloc} определяется по формуле $R_{bloc} = \alpha \varphi_b R_b$ (стр. 73) [16]. Принимая $\alpha = 1$, $\varphi_b = \sqrt[3]{A_f / A_p}$, вычисляем $R_{bloc} = 7.50 \text{ МПа}$

Подбор параметров опорной плиты и диаметра болтов

Принимаем размеры опорной плиты $L \times B$: $L = 740 \text{ мм}$, $B = 390 \text{ мм}$.

Проверяем прочность бетона под плитой при расчетном сочетании усилий:

$N = 217.1 \text{ кН}$, $M = 123.6 \text{ кНм}$ (усилие N , вызывающие сжатие в колонне принимается со знаком минус, вызывающее растяжение – со знаком плюс).

$$\sigma_f = \frac{N}{BL} \pm \frac{6M}{BL^2} = 217.1 \cdot 10^3 / (390 \cdot 740) + 6 \cdot 123.6 \cdot 10^6 / (390 \cdot 740^2) = 4.23 \text{ МПа} < R_{bloc} = 7.50 \text{ МПа.}$$

Условие прочности бетона на смятие выполняется

Принимаем количество болтов $n = 4$.

Назначаем марку стали фундаментных болтов согласно табл. 2 [11]. Соответственно, марка стали фундаментных болтов принимается С235 по ГОСТ 27772-88 с расчетным сопротивлением $R_{ba} = 145$ МПа.

Расстояние между болтами по оси X и по оси Y принимаем с учетом размера стороны анкерной плитки, размера катетов сварных швов, расстояния между сварными швами и расстояния от анкерной плитки до края плиты: $X_{\text{дйеаа}} = 570$ мм; $Y_{\text{дйеаа}} = 204$ мм.

Расчет растягивающих усилий в болтах с учетом пластичности бетона выполняем согласно [11] при расчетном сочетании усилий:

$$N = 103.8 \text{ кН}, M = 121.57 \text{ кНм}$$

Величина расчетной нагрузки, приходящейся на один растянутый болт:

$$P_1 = (R_b Bx - N) / n_t,$$

где N – продольная сила в колонне; R_b – расчетное сопротивление бетона фундамента осевому сжатию, n_t – количество растянутых болтов, расположенных с одной стороны колонны; B – ширина опорной плиты; x – высота сжатой зоны бетона под опорной плитой, определяемая по формуле:

$$x = l_a - \sqrt{l_a^2 - 2N(e_0 + A_{\text{анк}}) / R_b B} \leq \zeta_R l_a \quad (1)$$

где l_a – расстояние от равнодействующей усилий в растянутых болтах до противоположного края плиты; $A_{\text{анк}} = X_{\text{анк}} / 2$ – половина расстояния между анкерными болтами; $e_0 = M / N$ – эксцентриситет приложения нагрузки.

$$\zeta_R = \frac{0.85 - 0.008R_b}{1 + \frac{R_{ba}}{400} \left(1 - \frac{0.85 - 0.008R_b}{1.1} \right)} = (0.85 - 0.008 \cdot 7.5) / (1 + 145(1 - (0.85 - 0.008 \cdot 7.5) / 1.1) / 400) = 0.72$$

Подставляя в формулу (1) значения:

$$l_a = 940.0 \text{ мм}; A_{\text{анк}} = 285.0 \text{ мм}; e_0 = 121.57 \cdot 10^3 / 103.8 = 1171.2 \text{ мм}, \text{ получаем}$$

$$x = l_a - \sqrt{l_a^2 - 2N(e_0 + A_{\text{анк}}) / R_b B} = 940.0 - \sqrt{940.0^2 - 2 \cdot 103.8 \cdot 10^3 (1171.2 + 285.0) / (7.5 \cdot 390)} = 68.2$$

мм $< \zeta_R l_a = 0.72 \cdot 940.0 = 676.8$ мм – повышать класс бетона не требуется.

Максимальная величина расчетной нагрузки, приходящейся на один растянутый болт:

$$P_1 = (R_b Bx - N) / n_t = (7.5 \cdot 390 \cdot 68.2 \cdot 10^{-3} - 103.8) / 2 = 47.8 \text{ кН}$$

Расчет растягивающих усилий в болтах при внецентренном сжатии выполняем согласно (стр. 412–414) [8]:

При действии момента анкерные болты работают на растяжение и воспринимают усилие отрывающее базу колонны от фундамента. Усилие в анкерных болтах определяют в предположении, что бетон не работает на растяжение и растягивающая сила F_a , соответствующая растянутой зоне эпюры напряжений, полностью воспринимается анкерными болтами. Расчетная схема узла представлена на рис. 2.

Расчетное сочетание усилий в данном случае соответствует расчету с усилием $0.9N$:

$$N = 103.8 \text{ кН}, M = 121.57 \text{ кНм}$$

Нормальные напряжения в бетоне под плитой определяются по формулам внецентренного сжатия

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{N}{BL} - \frac{6M}{BL^2} = 103.8 \cdot 10^3 / (390 \cdot 740) - 6 \cdot 121.57 \cdot 10^6 / (390 \cdot 740^2) = -3.78 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{N}{BL} + \frac{6M}{BL^2} = 103.8 \cdot 10^3 / (390 \cdot 740) + 6 \cdot 121.57 \cdot 10^6 / (390 \cdot 740^2) = 3.06 \text{ МПа}$$

Положение нулевой точки на эпюре на эпюре напряжений для случая наличия сжатой зоны под базой колонны.

$$c = \frac{|\sigma_{\phi 1}| L}{|\sigma_{\phi 1}| + |\sigma_{\phi 2}|} = 3.78 \cdot 740 / (3.78 + 3.06) = 408.9 \text{ мм}$$

Исходя из условия равновесия сил относительно центра тяжести сжатой зоны бетона (сжимающее усилие N принимается со знаком плюс):

$$M - Na - F_a y = 0$$

находим усилие в фундаментном болте при наличии сжатой зоны в бетоне:

$$F_a = \frac{|M| - |N|a}{y} = (121.57 \cdot 10^3 - 103.8 \cdot 233.7) / 518.7 = 187.6 \text{ кН}$$

где $a = \frac{L}{2} - \frac{c}{3} = 740/2 - 408.9/3 = 233.7 \text{ мм}$,

$$y = A_{ank} + a = 285.0 + 233.7 = 518.7 \text{ мм}.$$

Здесь $A_{ank} = 285.0 \text{ мм}$ – половина расстояния между анкерными болтами (см. рис. 2.).

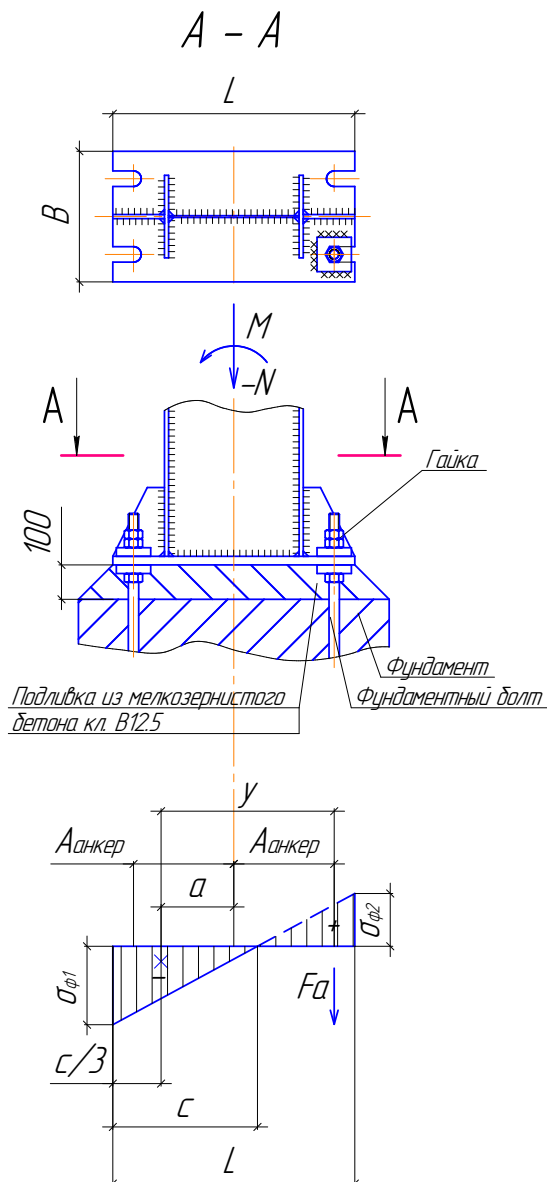


Рис. 2. Расчетная схема базы колонны.

В случае если оба напряжения σ_{f1} и σ_{f2} сжимающие, то фундаментные болты на растяжение не работают, и выполняется только проверка 1.

Величина расчетной нагрузки, приходящейся на один растянутый болт:

$$P_2 = F_a / n_t = 187.6/2 = 93.8 \text{ МПа}$$

Требуемая площадь нетто одного анкерного болта вычисляется по формуле

$$A_{bn} = \frac{k_0 P_{\max}}{R_{ba} \gamma_c},$$

где $P_{\max} = \max(P_1, P_2) = \max(47.8, 93.8) = 93.8 \text{ кН}$ – максимальная нагрузка на один болт из двух, вычисленных по разным методикам;

$k_0 = 1.05$ для статических нагрузок (принимается в данном случае, поскольку отсутствуют динамические нагрузки);

R_{ba} – расчетное сопротивление анкерного болта растяжению, принимаемое по табл. 3 [11] или табл. 6.11 [8], что идет в запас прочности относительно данных, представленных в табл. 60* [5].

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$ согласно табл. 6* [5].

$$A_{bn} = 1.05 \cdot 93.8 \cdot 10^3 / (145 \cdot 1) = 679 \text{ мм}^2.$$

По табл. 10 [11] находим ближайший диаметр болта, для которого площадь нетто не меньше требуемой – $D_{болт} = 36 \text{ мм}$.

Размер стороны анкерной плитки $B_{плит}$, соответствующий диаметру болта $D_{болт} = 36 \text{ мм}$, подбираем по табл. 3 [12]: $B_{плит} = 150 \text{ мм}$.

Противосдвиговые элементы

Необходимость установки противосдвиговых элементов определяем согласно п. 3.18 [11]. В случае не выполнения условия восприятия поперечной силой силы трения от действия продольной силы и силы затяжки болтов по формуле (17) [11] необходимо устанавливать противосдвиговые элементы.

$$Q \leq f \left(\frac{n A_{bn} R_{ba}}{4} + N \right)$$

Здесь $f=0.25$ – коэффициент трения;

N – усилие в колонне, принимаемое со знаком плюс в случае сжатия, и минус в случае растяжения (отрыва);

R_{ba} – расчетное сопротивление болта;

A_{bn} – площадь сечения анкерного болта;

n – количество сжатых болтов, для схемы приведенной на рис. 2

$n=4$ в случае выполнения условий $\sigma_{f1} \leq 0$ и $\sigma_{f2} \leq 0$;

$n=2$ в случае выполнения условий $\sigma_{f1} \leq 0$ и $\sigma_{f2} > 0$;

В данном случае используется расчетное сочетание усилий:

$$N = 149.6 \text{ кН}; Q = 25.5 \text{ кН}; M = 79.40 \text{ кНм}$$

для которого $n = 2$.

$$Q = 25.5 < 0.25 \cdot (2 \cdot 826 \cdot 145 \cdot 10^{-3} / 4 + 149.6) = 52.4 \text{ кН} \text{ – установка противосдвиговых элементов не требуется}$$

Подбор толщины опорной плиты

Подбор толщины опорной плиты колонн проводим согласно [8] (стр. 404–406). Для данной опоры можно выделить участки плиты, опертые по двум (участок 1) и по трем (участок 2) сторонам.

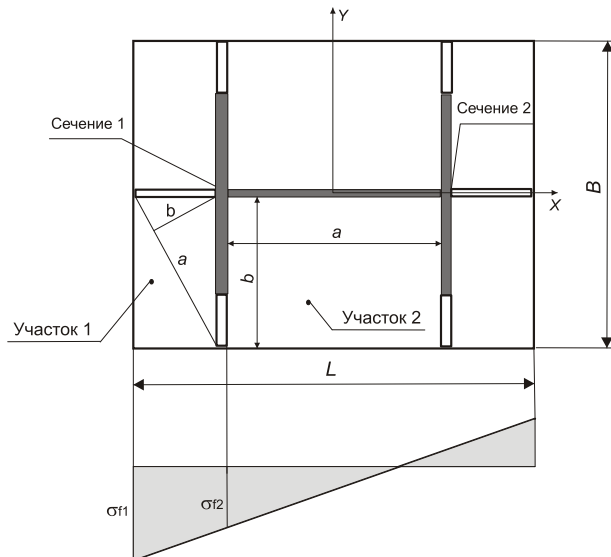


Рис. 3. Схема к расчету опорной плиты колонны, моментно опирающейся на фундамент, с ребрами усиления
Вычисление толщины плиты для этих участков проводится по формуле

$$t_p = \sqrt{6M_{\max} / R_y \gamma_c},$$

где $M_{\max} = \max(M_{a1}, M_{a2})$ – максимальный погонный изгибающий момент на участках плиты,

γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от толщины пластины по табл. 6*[5]. Здесь $\gamma_c = 1.2$.

Погонный момент при опирании на две или три стороны вычисляется по формуле 6.102 [8]:

$$M_a = \beta \sigma_f a^2,$$

где β – коэффициент, принимаемый по табл. 6.9 [8] в зависимости от отношения закрепленной стороны пластинки b к свободной кромке a ;

σ_f – максимальное напряжение под плитой на участке.

Если отношение $a/b > 2.00$, погонный момент вычисляется как для консольной балки по формуле $M_a = \sigma_f b^2 / 2$.

Для участка 1:

Расчетное сочетание усилий:

$$N = -217.1 \text{ кН}, M = 123.64 \text{ кНм}$$

$$\sigma_f = \sigma_{f1} = 4.23 \text{ МПа}, b = 133 \text{ мм}; a = 266 \text{ мм}.$$

$$\text{Так как } a/b = 2.00 \leq 2.00, \beta = 0.060, M_{a1} = \beta \sigma_f a^2 = 0.060 \cdot 4.23 \cdot 266^2 \cdot 10^{-3} = 18.0 \text{ кН}.$$

Для участка 2:

Расчетное сочетание усилий:

$$N = -217.1 \text{ кН}, M = 123.64 \text{ кНм}$$

$$\sigma_f = \sigma_{f2} = 2.4 \text{ МПа}, b = 191 \text{ мм}; a = 350 \text{ мм}.$$

$$\text{Так как } a/b = 1.83 \leq 2.00, \beta = 0.070, M_{a2} = \beta \sigma_f a^2 = 0.070 \cdot 2.4 \cdot 350^2 \cdot 10^{-3} = 20.6 \text{ кН}.$$

Максимальный погонный момент на участке:

$$M_{\max} = \max(M_{a1}, M_{a2}) = \max(18.0, 20.6) = 20.6 \text{ кН}.$$

Требуемая толщина плиты:

$$t_{p0} = \sqrt{6M_{\max} / R_y \gamma_c} = (6 \cdot 20.6 \cdot 10^3 / (230 \cdot 1.2))^{1/2} = 21.2 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину плиты $t_p = 22 \text{ мм}$.

$R_y = 230 \text{ МПа}$ соответствует расчетному сопротивлению стали С255 для принятой толщины плиты.

Расчет прочности ребер

Ребра по оси X

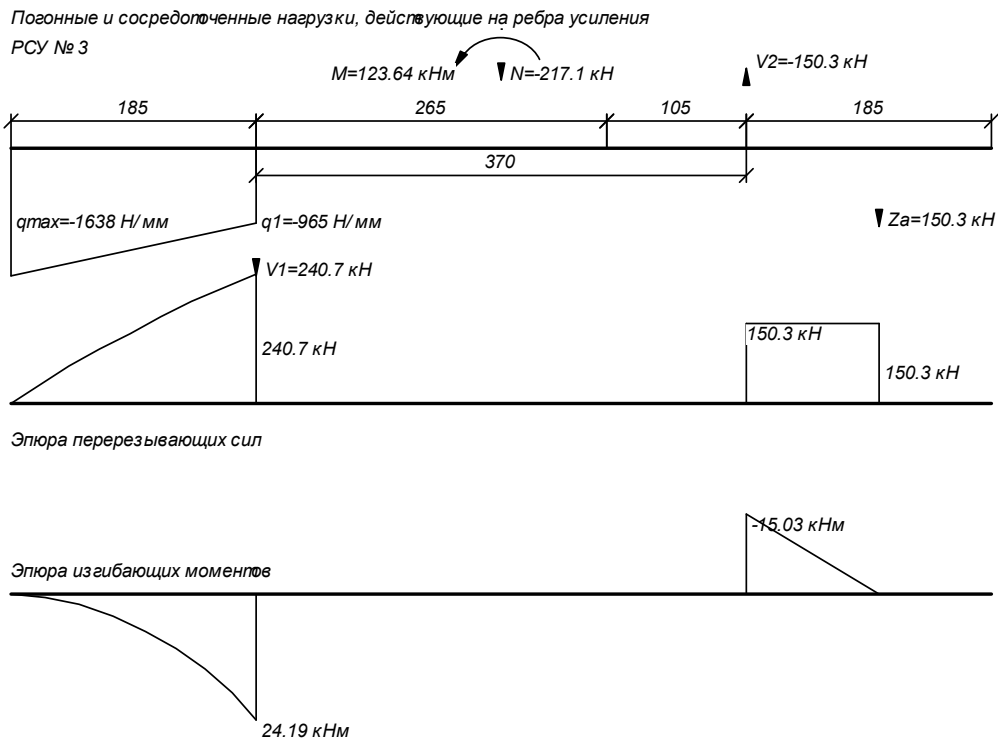
Выполняем подбор высоты и проверку прочности ребер, установленных по оси X и являющихся продолжением стенки колонны.

Ребро рассчитывается как консольная балка, нагруженная:

– в сжатой зоне отпором со стороны фундамента с эпюрой напряжений в форме трапеции (рис. 2), собранным с грузовой площади, равной ширине плиты B ;

– в растянутой зоне усилиями в анкерных болтах $F_a = \frac{|M| - |N|a}{y}$, см. рис. 1.

Расчетная схема для ребра по X показана на рис. 2.



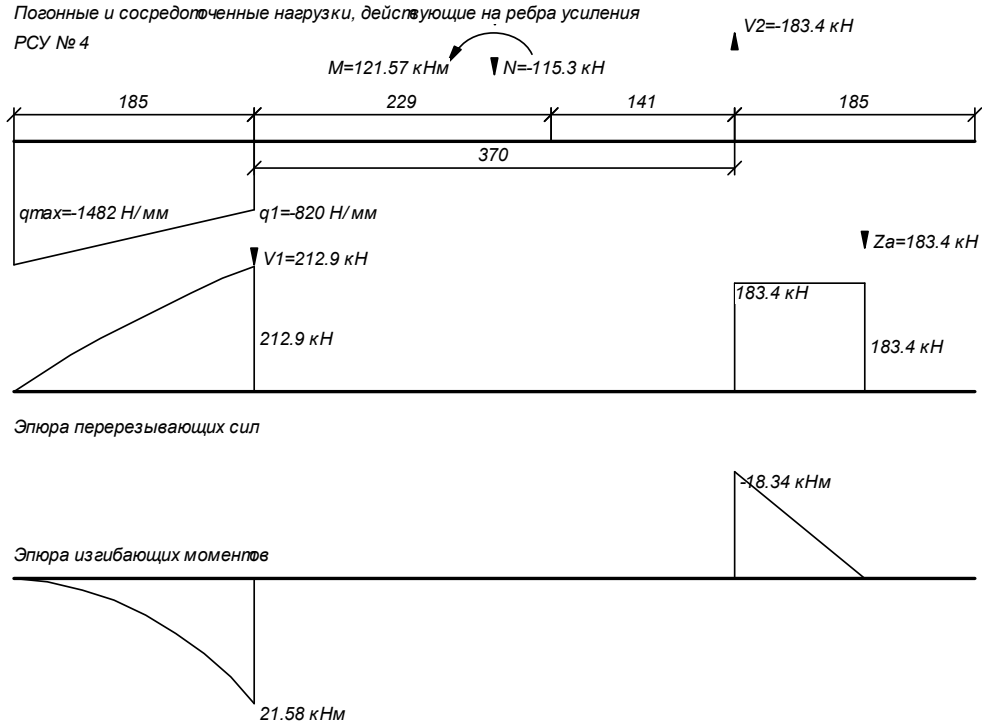


Рис. 2. Расчетная схема для ребра по оси X

В качестве расчетных сечений ребер рассматриваются сечения 1 и 2 в месте стыка ребра с колонной.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Максимальный момент и перерезывающая сила в сечении 1:

$M_1 = 24.19$ кНм, $Q_1 = 240.7$ кН – достигается при расчетном сочетании усилий:

$N = -217.1$ кН, $M = 123.64$ кНм.

Для этого сочетания усилий:

$\sigma_{\max} = -4.2$ МПа, $\sigma_{\min} = 2.7$ МПа, $c = 450$ мм, $a = 220$ мм, $y = 505$ мм,

$$F_a = \frac{M - Na}{y} = (123.64 \cdot 10^3 - 217.1 \cdot 220) / 505 = 150.3 \text{ кН.}$$

Максимальный момент и перерезывающая сила в сечении 2:

$M_2 = 18.34$ кНм, $Q_2 = 183.4$ кН – достигается при расчетном сочетании усилий:

$N = -115.3$ кН, $M = 121.57$ кНм.

Для этого сочетания усилий:

$\sigma_{\max} = -3.8$ МПа, $\sigma_{\min} = 3.0$ МПа, $c = 414$ мм, $a = 232$ мм, $y = 517$ мм,

$$F_a = \frac{M - Na}{y} = (121.57 \cdot 10^3 - 115.3 \cdot 232) / 517 = 183.4 \text{ кН.}$$

По максимальному моменту $M_{\max} = \max(M_1, M_2)$ определяем потребный момент сопротивления изгибу:

$$W_{r_req} = \frac{M_{\max}}{R_y \gamma_c} = 24.19 \cdot 10^6 / (240 \cdot 1) = 100792 \text{ мм}^3$$

Для принятой толщины ребра $t_r = 8$ мм высота ребра h_r должна быть не менее

$$h_r = \sqrt{6W_{r_req} / t_r} = (6 \cdot 100792 / 8)^{1/2} = 275 \text{ мм.}$$

Принимаем $h_r = 330$ мм.

Проверяем принятое сечение ребра на срез по максимальной перерезывающей силе $Q_{\max} = \max(Q_1, Q_2)$:

$$\tau = \frac{1.5Q_{\max}}{h_r t_r} = 1.5 \cdot 240.7 \cdot 10^3 / (330 \cdot 8) = 136.8 \text{ МПа} \leq R_s \gamma_c = 139.2 \text{ МПа}.$$

Условие прочности на срез выполняется.

Расчет сварного шва, соединяющего ребра по X с колонной.

Сварные швы, прикрепляющие ребра к колонне, проверяем на равнодействующее касательных напряжений от изгиба и среза.

Назначаем катет шва с учетом требований таблицы 38* [5] $k_f = 6 \text{ мм}$.

Нормативные параметры сварных швов см. п. 4.

Выполняем проверку прочности для сочетания усилий $Q_{\max} = 240.7 \text{ кН}$, $M_1 = 24.19 \text{ кНм}$:

Напряжения по металлу шва:

$$\tau_{fQ} = \frac{Q_{\max}}{\beta_f k_f 2(h_r - 10)} = 240.7 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot 6 \cdot 2(330 - 10)) = 89.5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{fM} = \frac{6M_1}{\beta_f k_f 2(h_r - 10)^2} = 6 \cdot 24.19 \cdot 10^6 / (0.7 \cdot 6 \cdot 2(330 - 10)^2) = 168.7 \text{ МПа}$$

Напряжения по границе сплавления:

$$\tau_{zQ} = \frac{Q_{\max}}{\beta_z k_f 2(h_r - 10)} = 240.7 \cdot 10^3 / (1 \cdot 6 \cdot 2(330 - 10)) = 62.7 \text{ МПа}$$

$$\tau_{zM} = \frac{6M_1}{\beta_z k_f 2(h_r - 10)^2} = 6 \cdot 24.19 \cdot 10^6 / (1 \cdot 6 \cdot 2(330 - 10)^2) = 118.1 \text{ МПа}$$

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{fM}^2 + \tau_{fQ}^2} = (89.5^2 + 168.7^2)^{1/2} = 191.0 \text{ МПа} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 215.0 \text{ МПа}$$

$$\tau_z = \sqrt{\tau_{zM}^2 + \tau_{zQ}^2} = (62.7^2 + 118.1^2)^{1/2} = 133.7 \text{ МПа} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 167.0 \text{ МПа}$$

Прочность сварных швов для данного сочетания усилий обеспечена.

Выполняем проверку прочности для сочетания усилий $M_{\max} = 24.19 \text{ кНм}$, $Q_2 = 240.7 \text{ кН}$:

Напряжения по металлу шва:

$$\tau_{fQ} = \frac{Q_2}{\beta_f k_f 2(h_r - 10)} = 240.7 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot 6 \cdot 2 \cdot (330 - 10)) = 89.5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{fM} = \frac{6M_{\max}}{\beta_f k_f 2(h_r - 10)^2} = 6 \cdot 24.19 \cdot 10^6 / (0.7 \cdot 6 \cdot 2 \cdot (330 - 10)^2) = 168.7 \text{ МПа}$$

Напряжения по границе сплавления:

$$\tau_{zQ} = \frac{Q_2}{\beta_z k_f 2(h_r - 10)} = 240.7 \cdot 10^3 / (1 \cdot 6 \cdot 2 \cdot (330 - 10)) = 62.7 \text{ МПа}$$

$$\tau_{zM} = \frac{6M_{\max}}{\beta_z k_f 2(h_r - 10)^2} = 6 \cdot 24.19 \cdot 10^6 / (1 \cdot 6 \cdot 2 \cdot (330 - 10)^2) = 118.1 \text{ МПа}$$

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{fM}^2 + \tau_{fQ}^2} = (89.5^2 + 168.7^2)^{1/2} = 191.0 \text{ МПа} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 215.0 \text{ МПа}$$

$$\tau_z = \sqrt{\tau_{zM}^2 + \tau_{zQ}^2} = (62.7^2 + 118.1^2)^{1/2} = 133.7 \text{ МПа} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 167.0 \text{ МПа}$$

Прочность сварных швов для данного сочетания усилий обеспечена.

Расчет сварных швов, соединяющих ребро с опорной плитой.

Требуемый катет двустороннего сварного шва, прикрепляющего ребро по оси X к опорной плите, вычисляется из условия прочности на действие максимального погонного усилия со стороны плиты на ребро.

Максимальное погонное усилие действует на краю плиты и равно $q_{\max} = \sigma_{f1} B / 2 = 4.23 \cdot 390 / 2 = 1638$ Н/мм

Нормативные параметры сварных швов см. п. 4.

$$k_f \geq \max \left(\frac{q_{\max}}{2\beta_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}, \frac{q_{\max}}{2\beta_z R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} \right) = \max(1638 / (2 \cdot 0.7 \cdot 215.0), 1638 / (2 \cdot 1 \cdot 167.0)) = 6 \text{ мм.}$$

Конструктивно принимаем катет шва с учетом требований таблицы 38* [5] $k_f = 7$ мм.

Ребра по оси Y

Выполняем проверку прочности ребер, установленных по оси Y и являющихся продолжением полок.

Ребра по оси Y рассчитываются как консольные балки, нагруженные в сжатой зоне отпором со стороны фундамента, собранным с грузовой площади, равной половине длины плиты $q_{ry_max} = \sigma_{f2} L / 2$, см. рис. 2.

В качестве расчетного сечения ребер рассматривается сечение в месте стыка ребра с полкой колонны.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Максимальный момент и перерезывающая сила в сечении:

$M_{\max} = q_{ry_max} (B - B_c)^2 / 8 = 7.01$ кНм, $Q_{\max} = q_{ry_max} (B - B_c) / 2 = 147.6$ кН – достигается при расчетном сочетании усилий:

$$N = -217.1 \text{ кН}, M = 123.64 \text{ кНм.}$$

Для этого сочетания усилий:

$$\sigma_{ry_max} = 4.2 \text{ МПа}$$

Определяем потребный момент сопротивления изгибу:

$$W_{ry_req} = \frac{M_{\max}}{R_y \gamma_c} = 7.01 \cdot 10^6 / (240 \cdot 1) = 29208 \text{ мм}^3$$

Для принятой толщины ребра $t_{ry} = 10$ мм высота ребра h_{ry} должна быть не менее

$$h_{ry} = \sqrt{6W_{ry_req} / t_{ry}} = (6 \cdot 29208 / 10)^{1/2} = 132 \text{ мм.}$$

Принимаем $h_{ry} = 210$ мм.

Проверяем принятое сечение ребра на срез по максимальной перерезывающей силе Q_{\max} :

$$\tau = \frac{1.5Q_{\max}}{h_{ry} t_{ry}} = 1.5 \cdot 147.6 \cdot 10^3 / (210 \cdot 10) = 105.4 \text{ МПа} \leq R_s \gamma_c = 139.2 \text{ МПа.}$$

Условие прочности на срез выполняется.

Расчет сварного шва, соединяющего ребра по оси Y с полками колонн.

В сварных швах стыкового соединения ребер с полками колонн одновременно действуют нормальные и касательные напряжения, поэтому проверку прочности шва проводим в соответствии с п. 11.1*, 11.4 [5] или п. 15.1.14, 15.1.15 [20].

Нормативные параметры сварных швов см. п. 4.

Условие прочности шва согласно формуле (33) [5]:

$$\sqrt{\sigma_{wy}^2 + 3\tau_{wxy}^2} \leq 1.15 R_{wy} \gamma_c,$$

$$\tau_{wxy} \leq R_{ws} \gamma_c$$

Нормальные напряжения вычисляются как

$$\sigma_{wy} = \frac{M_{\max} z}{J_w}$$

Здесь $J_w = \frac{t(h_{ry} - 2t)^3}{12}$, t – наименьшая из толщин соединяемых элементов, z – координата точки относительно середины ребра.

Касательные напряжения вычисляются как (29) [5]

$$\tau_{wy} = \frac{Q_{\max} S}{J_w t}$$

Здесь S – статический момент отсеченной части по координате z .

Поскольку сечение свариваемых частей имеет прямоугольную форму, максимум выражения для эквивалентного напряжения достигается при $z = h_{ry}/2$ и $\tau_{wxy} = 0$, а максимум касательных напряжений равен

$\tau_{wxy} = \frac{1.5Q_{\max}}{t(h_{ry} - 2t)}$. Таким образом, условие (33) [5] запишется как:

$$\sigma_{wy} = \frac{M_{\max} h_{ry}}{2J_w} \leq 1.15R_{wy}\gamma_c,$$

$$\tau_{wxy} = \frac{1.5Q_{\max}}{t(h_{ry} - 2t)} \leq R_{ws}\gamma_c$$

Для данного соединения:

$$t = 10 \text{ мм}, J_w = 10 \cdot (210 - 2 \cdot 10)^3 / 12 = 5715833 \text{ мм}^4,$$

$$\sigma_{wy} = 7.01 \cdot 10^6 \cdot 210 / (2 \cdot 5715833) = 128.8 \text{ МПа} \leq 1.15R_{wy}\gamma_c = 234.6 \text{ МПа}$$

Выполняем проверку прочности шва на срез по границе сплавления.

$$\tau_{wxy} = 1.5 \cdot 147.6 \cdot 10^3 / (10 \cdot (210 - 2 \cdot 10)) = 116.5 \text{ МПа} \leq R_{ws}\gamma_c = 118.3 \text{ МПа}$$

Прочность сварных швов соединения обеспечена.

Расчет сварных швов, соединяющих ребро с опорной плитой.

Требуемый катет двустороннего сварного шва, прикрепляющего ребро по оси Y к опорной плите, вычисляется из условия прочности на действие усилия, равного максимальному усилию в сварном шве, соединяющем ребро с колонной.

$$\text{Длина сварного шва } l_w = (B - B_c) - 20 = 390 - 200 - 20 = 170 \text{ мм}$$

Нормативные параметры сварных швов см. п. 4.

$$k_f \geq \max\left(\frac{Q_{\max}}{\beta_f l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}, \frac{Q_{\max}}{\beta_z l_w R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c}\right) = \max(147.6 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot 170 \cdot 215.0), 147.6 \cdot 10^3 / (1 \cdot 170 \cdot 167.0)) = 6 \text{ мм.}$$

Конструктивно принимаем катет шва с учетом требований таблицы 38* [5] $k_f = 7 \text{ мм}$.

Расчет сварных швов соединения колонны с плитой

Расчет сварных швов на действие продольной и поперечной силы выполняем в соответствии с п. 11.2* по формулам (120) и (121) [5], или п. 15.1.16 (155) и (156) [20].

Расчет сварных швов на действие момента выполняем в соответствии с п. 11.3* по формулам (122) и (123) [5], или п. 15.1.17 (157) и (158) [20].

Сварка полуавтоматическая выполняется в среде углекислого газа по ГОСТ 8050-85. Диаметр проволоки и марку проволоки не нормируем, поэтому расчетные значения принимаем в запас.

Выполняем проверку для размеров сечения без учета ребер жесткости, что идет в запас прочности.

Принимаем катет шва соединения полки с плитой $k_{ff} = 7 \text{ мм}$.

Принимаем катет шва соединения стенки с плитой $k_{fw} = 7 \text{ мм}$.

Нормативные данные для расчета сварных швов приведены в п. 4.

Условие прочности шва при действии силы, действующей в плоскости шва и проходящей через центр тяжести соединения:

По металлу шва:

$$\tau_{\max f} = \frac{N}{\beta_f(k_{ff}l_{wf} + k_{fw}l_{ww})} \leq R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c$$

По металлу границы сплавления:

$$\tau_{\max z} = \frac{N}{\beta_z(k_{ff}l_{wf} + k_{fw}l_{ww})} \leq R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c$$

Для этой проверки расчетное усилие N соответствует максимальной перерезывающей силе:

$$N = Q_{\max} = 25.5 \text{ кН.}$$

Суммарная длина швов полки за вычетом 10 мм на каждом непрерывном участке $l_{wf} = 724$ мм.

Суммарная длина швов стенки за вычетом 10 мм на каждом непрерывном участке $l_{ww} = 680$ мм.

Максимальное касательное напряжение по металлу шва

$$\tau_{\max f} = 25.5 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot (7 \cdot 724 + 7 \cdot 680)) = 3.7 \text{ МПа} \leq R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c = 215.0 \text{ МПа} -$$

условие прочности по металлу шва выполняется.

Максимальное касательное напряжение по металлу границы сплавления:

$$\tau_{\max z} = 25.5 \cdot 10^3 / (1 \cdot (7 \cdot 724 + 7 \cdot 680)) = 2.6 \text{ МПа} \leq R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c = 167.0 \text{ МПа} -$$

условие прочности по металлу границы сплавления выполняется.

Условие прочности шва при действии момента в плоскости шва:

По металлу шва:

$$\sigma_{\max f} = \left| \frac{N}{A_f} \pm \frac{M}{W_f} \right| \leq R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c$$

По металлу границы сплавления:

$$\sigma_{\max z} = \left| \frac{N}{A_z} \pm \frac{M}{W_z} \right| \leq R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c$$

Выполняем проверки по расчетному сочетанию усилий, вызывающему наибольшее по абсолютной величине напряжение в соответствии с расчетной схемой, см. рис. 2:

$$N = -217.1 \text{ кН}, M = 123.64 \text{ кНм}$$

Площадь расчетного сечения по металлу шва

$$A_f = A\beta_f = 102 \cdot 0.7 = 71 \text{ см}^2.$$

Площадь расчетного сечения по металлу границы сплавления

$$A_z = A\beta_z = 102 \cdot 1 = 102 \text{ см}^2.$$

В центральной системе координат осевой момент инерции шва:

$$J_y = 22399 \text{ см}^4$$

Момент сопротивления расчетного сечения по металлу шва

$$W_f = \frac{J_y\beta_f}{y} = 22399 \cdot 0.7 / 19.2 = 817 \text{ см}^3$$

Момент сопротивления расчетного сечения по металлу границы сплавления

$$W_z = \frac{J_y\beta_z}{y} = 22399 \cdot 1 / 19.2 = 1167 \text{ см}^3$$

Нормальное напряжение по металлу шва:

$$\sigma_{\max f} = \left| \frac{N}{A_f} \pm \frac{M}{W_f} \right| = |-217.1 \cdot 10 / 71 - 123.64 \cdot 10^3 / 817| = 181.8 \text{ МПа} < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 215.0 \text{ МПа.}$$

условие прочности по металлу шва выполняется.

Нормальное напряжение по металлу границы сплавления:

$$\sigma_{\max z} = \left| \frac{N}{A_z} \pm \frac{M}{W_z} \right| = |-217.1 \cdot 10 / 102 - 123.64 \cdot 10^3 / 1167| = 127.3 \text{ МПа} < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 167.0 \text{ МПа.}$$

условие прочности по металлу границы сплавления выполняется.

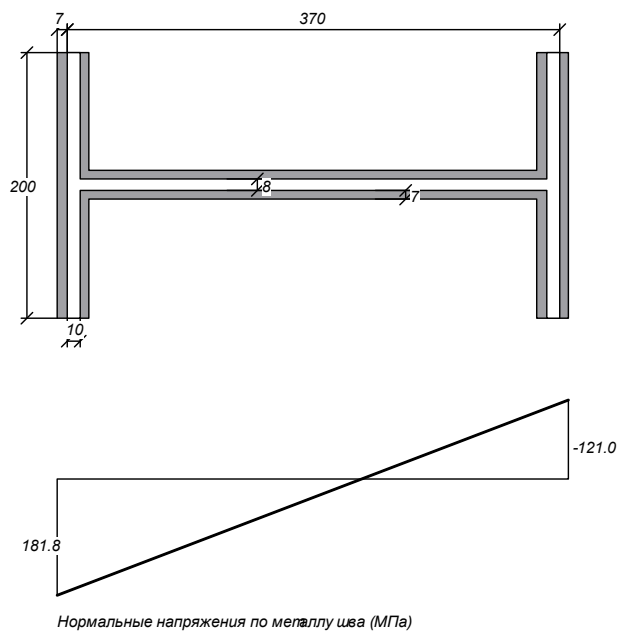
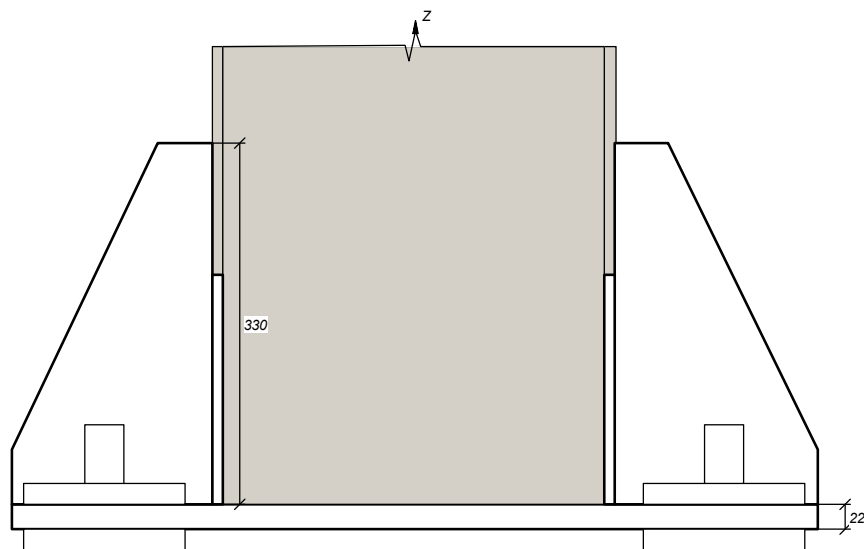


Рис. 1. К расчету прочности сварных швов



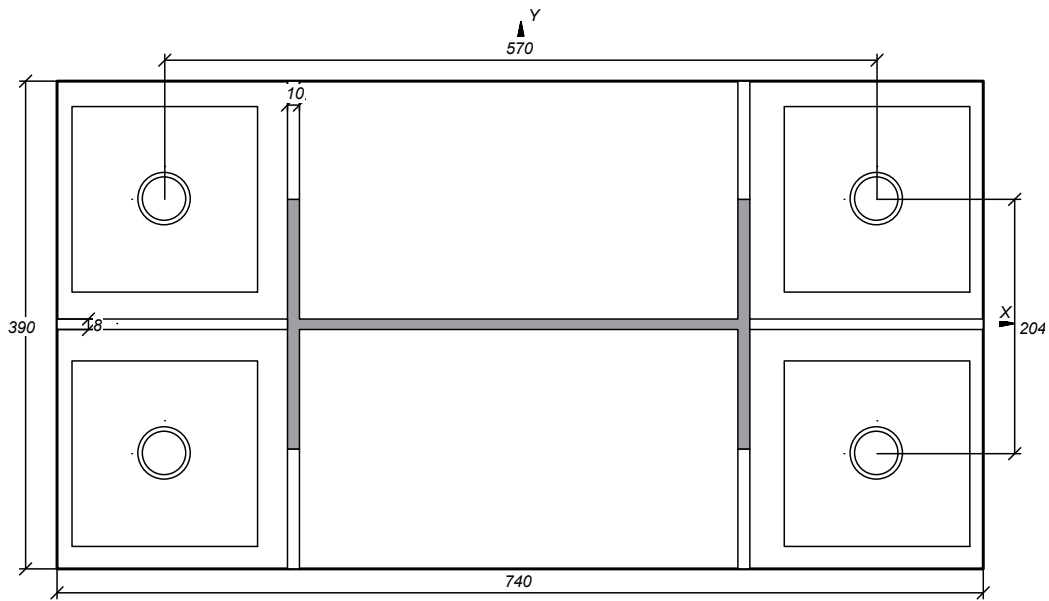


Рис. 4. Эскиз опорного узла колонны

№	Коэффициенты использования	Значение
1	Толщины опорной плиты	0.89
2	Растянутых болтов	0.82
3	Ребер по X по условиям прочности	0.98
4	Ребер по Y по условиям прочности	0.76
5	Соединения ребер по X с колонной	0.89
6	Соединения ребер по X с опорной плитой	0.86
7	Соединения ребер по Y с колонной	0.98
8	Соединения ребер по Y с опорной плитой	0.86
9	Соединения колонны с опорной плитой	0.85

Таблица 3. Параметры опорного узла колонны

№	Наименование	Значение
1	Катет сварного шва полка колонны - плита (мм)	7
2	Катет сварного шва стенка колонны - плита (мм)	7
3	Вид исполнения	С ребрами усиления
4	Размеры сечения колонны (мм)	370*200
5	Размеры плиты (мм)	740*390*22
6	Количество болтов	4
7	Марка стали болтов	ВСт3кп2
8	Диаметр болтов (мм)	36
9	Диаметр отверстия в плите под болт (мм)	45
10	Расстояние между болтами по X (мм)	570
11	Расстояние между болтами по Y (мм)	204
12	Размер стороны анкерной плитки (мм)	150
13	Катет сварного шва соединения анкерной плитки с плитой (мм)	8
14	Толщина ребер по X (мм)	8
15	Высота ребер по X (мм)	330
16	Ширина полки ребра по X (мм)	50
17	Толщина ребер по Y (мм)	10
18	Высота ребер по Y (мм)	210
19	Ширина полки ребра по Y (мм)	50
20	Катет сварного шва колонна-ребро по X (мм)	6
21	Катет сварного шва плита-ребро по X (мм)	7
22	Катет сварного шва плита-ребро по Y (мм)	7

2. Отчет по проектированию фланцевого узла

Расчет узла фланцевого стыка

Параметры и геометрические характеристики соединяемых элементов в плоскости фланца

1. Сечение слева

Высота сечения $H_{c_l} = 1681$ мм;

Ширина наружной полки $b_{fe_l} = 360$ мм;

Ширина внутренней полки $b_{fi_l} = 360$ мм;

Толщина стенки $t_{w_l} = 8$ мм;

Толщина наружной полки $t_{fe_l} = 10$ мм;

Толщина внутренней полки $t_{fi_l} = 14$ мм.

2. Сечение справа

Высота сечения $H_{c_r} = 1681$ мм;

Ширина наружной полки $b_{fe_r} = 330$ мм;

Ширина внутренней полки $b_{fi_r} = 330$ мм;

Толщина стенки $t_{w_r} = 8$ мм;

Толщина наружной полки $t_{fe_r} = 10$ мм;

Толщина внутренней полки $t_{fi_r} = 10$ мм.

2. Габариты сечения, используемые при размещении болтов

Толщина фланца $t = 20$ мм.

Приведенная высота сечения $h = 1681$ мм;

Максимальная ширина полки $b_{max} = 360$ мм;

Минимальная ширина полки $b_{min} = 330$ мм;

Максимальная толщина стенки профиля $t_w = 8$ мм;

Приведенная толщина наружной полки $t_{fe} = 223$ мм.

Приведенная толщина внутренней полки $t_{fi} = 17$ мм.

2. Геометрические характеристики сечения

При вычислении напряжений в плоскости фланца используются силовые факторы и геометрические характеристики сечения справа:

Площадь поперечного сечения $A = 21176$ мм²;

Площадь сечения наружного пояса $A_{fe} = 3300$ мм²;

Площадь сечения внутреннего пояса $A_{fi} = 4620$ мм²;

Момент инерции сечения $J = 849266 \cdot 10^4$ мм⁴;

Расстояние от центра тяжести сечения до внешней грани наружного пояса $y_c = 892.1$ мм;

Высота сечения принимается равной приведенной высоте $h = 1681$ мм;

Высота стенки (одинаковая для сечения слева и сечения справа) $h_w = 1657$ мм;

Минимальное расстояние от внешней грани наружного пояса до стыка со стенкой $y_{1\min} = 10$ мм;

Максимальное расстояние от внешней грани наружного пояса до стыка внутреннего пояса со стенкой $y_{2\max} = 1667$ мм.

Принятые материалы и параметры болтов

Материал фланца сталь марки С345 по ГОСТ 27772-88 с расчетным сопротивлением изгибу согласно табл. 51* СНиП II-23-81* $R_y^f = 315$ МПа при толщине фланца $t = 20$ мм.

Материал соединяемых профилей сталь марки С255 по ГОСТ 27772-88.

Болты высокопрочные М20, расчетное усилие растяжения болта B_p согласно табл. 61 и 62 [19] и п. 3.2 [23]:

$$B_p = 0.7 R_{bun} A_{bn} = 0.7 \cdot 1100 \cdot 245 \cdot 10^{-3} = 188.7 \text{ кН.}$$

Расчетное усилие предварительного натяжения болтов:

$$B_0 = 0.9 B_p = 169.8 \text{ кН.}$$

Нормативные данные для расчета сварных швов

Коэффициенты β_f, β_z принимаем равными: $\beta_f = 0.7, \beta_z = 1$.

(принято по минимуму в запас, при этом допускается не указывать в рабочих чертежах вид сварки, положение шва, диаметр сварочной проволоки).

Расчетное сопротивление по металлу шва по табл. 56* [5] для сварочной проволоки Св-08Г2С

$$R_{wf} = 215.0 \text{ МПа (см. табл. 4* [5]).}$$

Расчетное сопротивление по металлу границы сплавления R_{wz} принимается минимальным из двух:

- по материалу ригеля С255: $R_{wz1} = 0.45 R_{un1} = 0.45 \cdot 370 = 166.5$ МПа;
- по материалу фланца С345: $R_{wz2} = 0.45 R_{un2} = 0.45 \cdot 470 = 211.5$ МПа.

$$R_{wz} = \min(R_{wz1}, R_{wz2}) = 166.5 \text{ МПа.}$$

Коэффициент $\gamma_{wf} = 1.0$.

Коэффициент $\gamma_{wz} = 1.0$.

Расчетные сочетания усилий

При расчете фланцевого узла используются расчетные сочетания усилий, действующие в сечении и выбранные по следующим критериям:

- максимальное касательное напряжение в стенке, соответствует максимуму поперечной силы Q_0 ;
- максимальное растягивающее напряжение в наружной полке;
- максимальное растягивающее напряжение во внутренней полке.

Продольные N_0 и поперечные силы Q_0 , действующие в системе координат, ось X которой совпадает с осью жесткости сечения справа от фланца, пересчитываются в систему координат фланца, ось которой перпендикулярна плоскости фланца.

Угол между осью жесткости сечения справа и нормалью к плоскости фланца:

$$\alpha_0 = 38.40 \text{ град.}$$

Пересчет усилий проводится по формулам:

$$N = N_0 \cos \alpha_0 + Q_0 \sin \alpha_0$$

$$Q = -N_0 \sin \alpha_0 + Q_0 \cos \alpha_0,$$

Здесь N и Q – продольная и поперечная сила в системе координат фланца.

Расчетные сочетания усилий в обеих системах координат приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные сочетания усилий

Ориентация продольной оси	Критерий	N	Q	M
		кН	кН	кНм
По оси жесткости сечения справа	Максимум Q	-546.2	172.2	-785.0
	Максимум Sigma нар.пояс	-546.2	172.2	-785.0
	Максимум Sigma внут.пояс	-255.9	51.5	-267.1
По нормали к плоскости фланца	Максимум Q	-321.1	474.2	-785.0
	Максимум Sigma нар.пояс	-321.1	474.2	-785.0
	Максимум Sigma внут.пояс	-168.6	199.3	-267.1

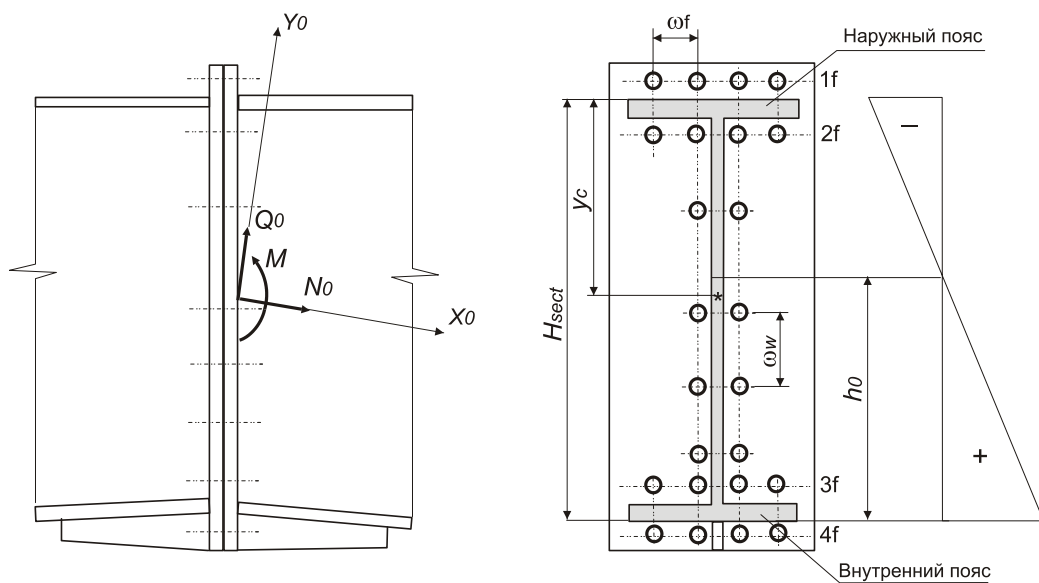


Рис. 1 Схема узла и положительные направления усилий в системе координат правого сечения

Принимаем размеры катетов сварных швов:

– по поясам профиля $k_{ff} = 10$ мм;

– по стенке $k_{fw} = 6$ мм.

Расчет проводится по усилиям, полученным для сечения справа от фланца. Из условия равновесия усилия в поясах и в стенке справа и слева от фланца будут одинаковыми независимо от различий в геометрии левого и правого сечений профиля.

Расчет прочности болтов фланца проводится по растянутым поясам

Расчет прочности фланца по наружному поясу

Расчетное сочетание усилий в системе координат фланца $M = -785.0$ кНм; $N = -321.1$ кН.

Нормальные напряжения в поясах присоединяемого профиля от действия изгибающего момента и продольных усилий (знак “+” соответствует растяжению):

Напряжение в наружном поясе:

$$\sigma_{ext} = -\frac{Mz_c}{J} + \frac{N}{A} = -(-785.0 \cdot 10^6 \cdot 892.1 / (849266 \cdot 10^4)) + (-321.1 \cdot 10^3 / 21176) = 67.3 \text{ МПа};$$

Напряжение во внутреннем поясе:

$$\sigma_{\text{int}} = \frac{M(h - z_c)}{J} + \frac{N}{A} = -785.0 \cdot 10^6 (1681 - 892.1) / (849266 \cdot 10^4) + (-321.1 \cdot 10^3 / 21176) = -88.1 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \max(\sigma_{\text{ext}}, \sigma_{\text{int}}) = \max(67.3, -88.1) = 67.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{min}} = \min(\sigma_{\text{ext}}, \sigma_{\text{int}}) = \min(67.3, -88.1) = -88.1 \text{ МПа}$$

Ширина фланца, приходящаяся на один болт, расположенный вдоль растянутой стенки профиля
 $w_1 = 80 \text{ мм.}$

Толщина и ширина растянутого (наружного) пояса профиля

$$t_{f1} = 10 \text{ мм, } b_{f1} = 330 \text{ мм.}$$

Толщина стенки профиля

$$t_{w_r} = 8 \text{ мм.}$$

Приведенная толщина растянутого пояса профиля

$$t_{fe} = 223 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние от ряда болтов 2f до внешней грани растянутого пояса:

$$a_1 = t_{fe} + 0.5D_w + k_{ff} + \Delta a = 223 + 0.5 \cdot 44 + 10 + 2 = 342 \text{ мм.}$$

Здесь D_w – диаметр шайбы, Δa – расстояние между сварным швом и шайбой.

Длина стенки в зоне болтов растянутого пояса

$$h_{w1} = a_1 + 0.5w_1 - t_{fe} = 342 + 0.5 \cdot 80 - 223 = 159 \text{ мм}$$

Площадь сечения растянутого пояса (вычисляется для сечения справа):

$$A_f = t_{f1} b_{f1} = 10 \cdot 330 = 3300 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения участка стенки в зоне болтов растянутого пояса

$$A_{w1} = h_{w1} t_{w_r} = 159 \cdot 8 = 1272 \text{ мм}^2$$

Усилие в растянутом поясе присоединяемого ригеля (в поясе с примыкающей частью стенки) по формуле (11) [19]:

$$N_{f1} = (A_f + A_{w1}) \sigma_{\text{max}} = (3300 + 1272) 67.3 \cdot 10^{-3} = 307.7 \text{ кН (в запас, поскольку на внутренней грани пояса и участке стенки напряжения меньше).}$$

Отношение минимального напряжения к максимальному с учетом знака

$$m = \frac{\sigma_{\text{min}}}{\sigma_{\text{max}}} = -88.1 / 67.3 = -1.31$$

$$h_0 = \frac{h}{1 - m} = 1681 / (1 - (-1.31)) = 727.7 \text{ мм}$$

Усилие в растянутой части стенки присоединяемого профиля вычисляем по формулам (12), приведенным в [19], приложение 7.

При $m \leq 0$ & $\sigma_{\text{max}} > 0$

$$N_w = \frac{1}{2} \sigma_{\text{max}} \frac{t_w}{h_0} 10^{-3} (h_0 - h_{w1})^2 = 0.5 \cdot 67.3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} (727.7 - 159)^2 / 727.7 = 119.6 \text{ кН}$$

При принятом конструктивном решении ФС (нет ребра жесткости и наличие болтов в рядах 1f и 2f) число болтов наружной зоны растянутого пояса, ограниченных только с одной стороны $n_{H1} = 4$ (ряд 1f), $n_{H2} = 2$ (ряд 2f). Определение рядов 1f и 2f см. рис. 1.

Число рядов болтов с одной стороны растянутой части стенки $n = 4$.

Определение предельного расчетного усилия, воспринимаемого болтами растянутого пояса N_{fp1}

Минимальное расстояние от ряда болтов 1f до полки:

$$b_1 = 0.5D_w + k_{ff} + \Delta a = 0.5 \cdot 44 + 10 + 2 = 34 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние от ряда болтов стенки до стенки:

$$\Delta b_{1w} = 0.5D_w + k_{fw} + \Delta a = 0.5 \cdot 44 + 6 + 2 = 30 \text{ мм.}$$

Расстояние между осями болтов стенки:

$$b_{1w} \geq 2\Delta b_{1w} + t_w = 2 \cdot 30 + 8 = 68 \text{ мм.}$$

Принимаем $b_{1w} = 70$ мм.

$$h_1 = h_0 + b_1 = 727.7 + 34 = 761.7 \text{ мм.}$$

$$h_2 = h_0 - a_1 = 727.7 - 342 = 385.7 \text{ мм.}$$

Поскольку $h > 500$ мм, $K_1 = 1$.

Расчетное усилие, воспринимаемое фланцем и болтом, относящимся к наружной части пояса, определяем из условия:

$$N_{Hff} = N_{Hf} = \min(N_{ff}, N_{\delta f}),$$

здесь $N_{\delta f}$ – расчетное усилие на болт, определяемое из условия прочности соединения по болтам; N_{ff} – расчетное усилие на болт, определяемое из условия прочности фланца на изгиб.

Номинальный диаметр резьбы принятого болта $d = 20$ мм.

Средняя ширина фланца, приходящаяся на один болт наружной зоны (ряд 1f) растянутого пояса профиля по рекомендации [19] принимается равной расстоянию между осями болтов:

$$\omega_f = 100 \text{ мм.}$$

Средняя ширина фланца, приходящаяся на один болт растянутой зоны стенки, по рекомендации [19]:

$$\omega_w = 115 \text{ мм.}$$

Расстояние от оси болтов ряда 1f до края сварного шва растянутого пояса профиля

$$b_f = b_1 - k_{ff} = 34 - 10 = 24 \text{ мм.}$$

Безразмерный параметр жесткости болта вычисляем по формуле 3.22 [17] или (7) [19]:

$$\chi_f = \frac{d^2}{\omega_f \left(t + \frac{d}{2} \right)} \left(\frac{b_f}{t} \right)^3 = 20^2 (24/20)^3 / (100 \cdot (20 + 0.5 \cdot 20)) = 0.230$$

По формуле (3.21) [17] или (6) [19]:

$$\lambda_f = 0.5088 - 0.2356 \lg \chi_f = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg(0.230) = 0.659$$

Значение расчетного усилия на один болт, определяемое из условия прочности соединения по болтам $N_{\delta f}$ определяем по формуле (3.20) [17] или (5) [19]:

$$N_{\delta f} = \lambda_f B_p = 0.659 \cdot 188.7 = 124.4 \text{ кН}$$

Вычисляем значения параметров формулы (3.23) [17] или (8) [19]:

$$M_f = \frac{\omega_f t^2}{6} R_y \cdot 10^{-6} = 100 \cdot 20^2 \cdot 315 \cdot 10^{-6} / 6 = 2.10 \text{ кНм}$$

$$\mu_f = \frac{0.9 B_\delta b_f}{M_f 10^3} = 0.9 \cdot 188.7 \cdot 24 / (2.10 \cdot 10^3) = 1.941$$

Значение α_f определяем по таблице 3.31 [17] или 4 [19] линейной интерполяцией для $\chi_f = 0.230$ и $\mu_f = 1.941$: $\alpha_f = 1.937$

Значение расчетного усилия на болт из условия прочности фланца на изгиб N_{ff} определяем по формуле (3.23) [17] или (8) [19]:

$$N_{ff} = 1.3 \frac{\alpha_f + 1}{\mu_f \alpha_f} B_p = 1.3(1.937 + 1) \cdot 188.7 / (1.941 \cdot 1.937) = 191.6 \text{ кН.}$$

$$N_{Hf} = \min(N_{ff}, N_{\delta f}) = \min(191.6, 124.4) = 124.4 \text{ кН}$$

При отсутствии ребра жесткости усилие, воспринимаемое болтами растянутого пояса, вычисляется по формуле (3.32) [17] или (21) [19]:

$$N_{fp1} = 1.8 B_p \frac{h_2}{h_1} + N_{Hf} \left(n_{H1} + n_{H2} \frac{h_2}{h_1} \right) = 1.8 \cdot 188.7 \cdot 385.7 / 761.7 + 124.4 (4 + 2 \cdot 385.7 / 761.7) = 795.3 \text{ кН}$$

Определение предельного расчетного усилия, воспринимаемого болтами растянутой части стенки
 N_{wp}

Расчетное усилие, воспринимаемое фланцем и болтом, относящимся к растянутой части стенки профиля, определяем из условия:

$$N_{Hw} = N_{Hw} = \min(N_{\delta w}, N_{\sigma w})$$

Расстояние от оси болтов стенки до края сварного шва стенки

$$b_w = \frac{b_{1w} - t_w}{2} - k_{fw} = 0.5 \cdot (70 - 8) - 6 = 25 \text{ мм}$$

$$\chi_w = \frac{d^2}{\omega_w \left(t + \frac{d}{2} \right)} \left(\frac{b_w}{t} \right)^3 = 20^2 (25/20)^3 / (115 \cdot (20 + 0.5 \cdot 20)) = 0.226.$$

По формуле (3.21) [17] или (6) [19]:

$$\lambda_w = 0.5088 - 0.2356 \lg \chi_w = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg(0.226) = 0.661$$

Значение расчетного усилия на один болт, определяемое из условия прочности соединения по болтам $N_{\delta w}$, определяем по формуле (3.20) [17] или (5) [19]:

$$N_{\delta w} = \lambda_w B_p = 0.661 \cdot 188.7 = 124.7 \text{ кН}$$

Вычисляем значения параметров формулы (3.23) [17] или (8) [19]:

$$M_w = \frac{\omega_w t^2}{6} R_y \cdot 10^{-6} = 115 \cdot 20^2 \cdot 315 \cdot 10^{-6} / 6 = 2.42 \text{ кНм}$$

$$\mu_w = \frac{0.9 B_p b_w}{M_w 10^3} = 0.9 \cdot 188.7 \cdot 25 / (2.42 \cdot 10^3) = 1.754$$

Значение α_w определяем по таблице 3.31 [17] или 4 [19]: линейной интерполяцией для $\chi_w = 0.226$ и $\mu_w = 1.754$: $\alpha_w = 2.112$

Значение расчетного усилия на болт из условия прочности фланца на изгиб $N_{\phi w}$ определяем по формуле (3.23) [17] или (8) [19]:

$$N_{\phi w} = 1.3 \frac{\alpha_w + 1}{\mu_w \alpha_w} B_p = 1.3 \cdot (2.112 + 1) \cdot 188.7 / (1.754 \cdot 2.112) = 206.1 \text{ кН.}$$

$$N_{Hw} = \min(N_{\phi w}, N_{\delta w}) = \min(206.1, 124.7) = 124.7 \text{ кН}$$

Усилие N_{wp} , воспринимаемое болтами растянутой части стенки вычисляется по формуле (3.34) [17] или (19) [19]:

$$N_{wp} = 2N_{Hw} \frac{n}{h_0} [h_2 - 0.5(n+1)\omega_w] = 2 \cdot 124.7(4/727.7) \cdot [385.7 - 0.5(4+1)115] = 134.6 \text{ кН.}$$

Здесь $n = 4$ – число болтов в растянутой части стенки.

Проверка условий прочности

Поскольку $m < 0$ и $\sigma_{\max} > 0$, то проверку прочности фланцевого соединения выполняем по условию (3.28) [17] или (13) [19]:

$$N_{f1} = 307.7 \text{ кН} \leq N_{fp1} = 795.3 \text{ кН},$$

коэффициент использования болтов наружной полки $k_{f_ext} = \frac{N_{f1}}{N_{fp1}} = 307.7/795.3 = 0.39$.

$$N_w = 119.6 \text{ кН} \leq N_{wp} = 134.6 \text{ кН}$$

коэффициент использования болтов стенки со стороны наружной полки

$$k_w = \frac{N_w}{N_{wp}} = 119.6/134.6 = 0.89.$$

Прочность фланцевого стыка от действия изгибающего момента и продольных усилий обеспечена

Проверка прочности фланцевого стыка на действие сдвигающих сил

Проверку фланцевого стыка на действие сдвигающих сил выполняем согласно п. 5.9 [19].

Расчетное сочетание усилий для этой проверки выбирается из условия максимальной перерезывающей силы в сечении фланца: $Q = 474.2 \text{ кН}$, $N = -321.1 \text{ кН}$, $M = -785.0 \text{ кНм}$

Усилие от сжатия во фланцевом стыке от действия внешней нагрузки определяем по формуле (3.42) [17] или (27) [19].

$$N_c = -\frac{M}{h} \pm \frac{N}{2} = -785.0 \cdot 10^3 / 1681 - 321.1 / 2 = -627.5 \text{ кН}$$

Коэффициент трения соединяемых поверхностей фланцев (без обработки, в запас).

$$\mu = 0.25.$$

Выполняем проверку прочности ФС по формуле (3.41) [17] или (26) [19].

$$\text{Поскольку } Q = 474.2 \text{ кН} > \mu |N_c| = 0.25 \cdot 627.5 = 156.9 \text{ кН},$$

выполняем проверку прочности фланцевого стыка на действие сдвигающих сил по СНиП II-23-81* «Стальные конструкции», п.11.13*.

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu}{\gamma_h} = 770 \cdot 1 \cdot 245 \cdot 10^{-3} \cdot 0.25 / 1.2 = 39.3 \text{ кН.}$$

Здесь $R_{bh} = 0.7 R_{bun} = 0.7 \cdot 1100 = 770 \text{ МПа}$ – расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта;

$\gamma_b = 1$ – коэффициент условий работы соединения, зависящий от количества болтов n , необходимых для восприятия расчетного усилия;

$$\gamma_h = 1.2 \text{ – коэффициент надежности, принимаемый по табл. 36* СНиП.}$$

Количество высокопрочных болтов n , необходимое для восприятия поперечной силы в соединении

$$n \geq \frac{Q}{Q_{bh} k \gamma_c} = 474.2 / (39.3 \cdot 1.0 \cdot 1) = 13,$$

Здесь k – количество поверхностей трения.

Количество болтов в соединении больше 13, следовательно, условие прочности фланцевого стыка на сдвиг выполняется.

Расчет прочности сварных швов

Расчет прочности сварных швов соединения фланца с профилем выполняем по методике, изложенной в [19].

Проверка прочности сварных швов соединения поясов профиля с фланцем

Определяем усилия в наружной и внутренней полках профиля для расчетного сочетания усилий в системе координат фланца $M = -785.0$ кНм; $N = -321.1$ кН.

Напряжение в наружном поясе:

$$\sigma_{ext} = -\frac{M y_c}{J} + \frac{N}{A} = -(-785.0 \cdot 10^6 \cdot 892.1 / 849266 \cdot 10^4) + (-321.1 \cdot 10^3 / 21176) = 67.3 \text{ МПа.}$$

Напряжение во внутреннем поясе:

$$\sigma_{int} = \frac{M(h - y_c)}{J} + \frac{N}{A} = -785.0 \cdot 10^6 (1681 - 892.1) / 849266 \cdot 10^4 - (-321.1 \cdot 10^3 / 21176) = -88.1 \text{ МПа.}$$

Усилие в наружной полке:

$$N_{w_ext} = \sigma_{ext} b_f t_f = 67.3 \cdot 330 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 222.1 \text{ кН.}$$

Усилие во внутренней полке:

$$N_{w_int} = \sigma_{int} b_f t_f = -88.1 \cdot 330 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = -407.0 \text{ кН.}$$

Проверку прочности сварных швов соединения полки с фланцем проверяем с учетом проплавления корня шва на 2 мм по трем сечениям.

Поскольку катеты швов на наружной и внутренней полках приняты одинаковыми ($k_f = 10$ мм), с учетом различного коэффициента условий работы для сжатого и растянутого пояса ($|N_{w_ext}| / \gamma_{c_ext} < |N_{w_int}| / \gamma_{c_int}$), выполняем проверку только для шва внутренней полки:

$$N_w = |N_{w_int}|$$

Расчетная длина шва полки

$$l_w = 2(b_f - 10) = 2(330 - 10) = 640 \text{ мм.}$$

Поскольку рассчитывается стык сжатой полки, изгиб фланца не учитывается и коэффициент условий работы принимается $\gamma_c = 1$

Расчетное сопротивление стали фланца в направлении толщины фланца определяем по табл. 1* [5]. Значение $R_{un} = 470$ МПа принимается по табл. 51* [5] с учетом толщины фланца.

$$R_{th} = \frac{0.5 R_{un}}{\gamma_m} = 0.5 \cdot 470 / 1.025 = 229 \text{ МПа.}$$

Проверка по металлу шва

$$\sigma_{wf} = \frac{N_w}{\beta_f (k_f + 2) l_w} = 407.0 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot (10 + 2) \cdot 640) = 75.7 \text{ МПа} < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 215.0 \cdot 1.0 \cdot 1 = 215.0 \text{ МПа.}$$

Проверка по металлу границы сплавления

$$\sigma_{wz} = \frac{N_w}{\beta_z k_f l_w} = 407.0 \cdot 10^3 / (1 \cdot 10 \cdot 640) = 63.6 \text{ МПа} < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 166.5 \cdot 1.0 \cdot 1 = 166.5 \text{ МПа.}$$

Проверка по металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины фланца

$$\sigma_{th} = \frac{N_w}{(k_f + 1.4)I_w} = 407.0 \cdot 10^3 / ((10 + 1.4) \cdot 640) = 55.8 \text{ МПа} < R_{th} \gamma_{wz} \gamma_c = 229 \cdot 1.0 \cdot 1 = 229.3 \text{ МПа.}$$

Условия прочности сварных швов соединения поясов с фланцем выполняются.

Проверка прочности сварных швов соединения стенки двутавра с фланцем

Проверка по максимальному погонному усилию в месте стыка стенки и полки двутаврового сечения

Для этой проверки расчетное сочетание усилий в системе координат фланца:

$$M = -785.0 \text{ кНм}; N = -321.1 \text{ кН.}$$

$$\sigma_{w_ext} = -\frac{My_{w_ext}}{J} + \frac{N}{A} = -(-785.0 \cdot 10^6 \cdot 882.1 / 849266 \cdot 10^4) + (-321.1 \cdot 10^3 / 21176) = 66.4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{w_int} = \frac{My_{w_int}}{J} + \frac{N}{A} = -785.0 \cdot 10^6 \cdot 774.9 / 849266 \cdot 10^4 + (-321.1 \cdot 10^3 / 21176) = -86.8 \text{ МПа};$$

Здесь используются расстояния от ц.т. сечения до соединения стенки с наружной и внутренней полкой соответственно:

$$y_{w_ext} = y_c - y_{1min} = 892.1 - 10 = 882.1 \text{ мм};$$

$$y_{w_int} = y_{2max} - y_c = 1667 - 892.1 = 774.9 \text{ мм.}$$

Максимальное нормальное напряжение в стенке:

$$\sigma_{wmax} = \max(|\sigma_{w_ext}|, |\sigma_{w_int}|) = 86.8 \text{ МПа.}$$

Погонное усилие в стенке:

$$N_w^l = \sigma_{wmax} t_{w_r} = 86.8 \cdot 8 = 694.4 \text{ Н/мм.}$$

Проверка по металлу шва:

$$\sigma_{wf} = \frac{N_w^l}{2\beta_f(k_w + 2)} = 694.4 / (2 \cdot 0.7(6 + 2)) = 62.0 \text{ МПа} < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 215.0 \cdot 1.0 \cdot 1 = 215.0 \text{ МПа}$$

Проверка по металлу границы сплавления

$$\sigma_{wz} = \frac{N_w^l}{2\beta_z k_w} = 694.4 / (2 \cdot 1 \cdot 6) = 57.9 \text{ МПа} < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 166.5 \cdot 1.0 \cdot 1 = 166.5 \text{ МПа.}$$

Проверка по металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины фланца

$$\sigma_{th} = \frac{N_w}{2(k_w + 1.4)} = 694.4 / (2(6 + 1.4)) = 46.9 \text{ МПа} < R_{th} \gamma_{wz} \gamma_c = 229 \cdot 1.0 \cdot 1 = 229.3 \text{ МПа.}$$

Проверка на совместное действие нормальных и касательных напряжений

Расчетное сочетание усилий для этой проверки в системе координат фланца:

$$M = -785.0 \text{ кНм}; N = -321.1 \text{ кН}; Q = 474.2 \text{ кН.}$$

$$\sigma_{w_ext} = -\frac{My_{w_ext}}{J} + \frac{N}{A} = 66.4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{w_int} = \frac{My_{w_int}}{J} + \frac{N}{A} = -86.8 \text{ МПа.}$$

Максимальное нормальное напряжение в стенке:

$$\sigma_{wmax} = \max(|\sigma_{w_ext}|, |\sigma_{w_int}|) = 86.8 \text{ МПа}$$

Погонное усилие в стенке:

$$N_w^l = \sigma_{wmax} t_w = 86.8 \cdot 8 = 694.4 \text{ Н/мм}$$

Напряжение по металлу шва:

$$\sigma_{wf} = \frac{N_w^l}{2\beta_f(k_f + 2)} = 62.0 \text{ МПа.}$$

Напряжение по металлу границы сплавления:

$$\sigma_{wz} = \frac{N_w^l}{2\beta_z k_f} = 57.9 \text{ МПа.}$$

Напряжение по металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины фланца:

$$\sigma_{th} = \frac{N_w}{2(k_f + 1.4)} = 46.9 \text{ МПа.}$$

Расчетная длина шва соединения стенки с фланцем:

$$l_w = 2(h_w - 10) = 2(1657 - 10) = 3294 \text{ мм.}$$

Касательные напряжения в шве стенки:

$$\tau_{wf} = \frac{Q_w}{\beta_f(k_w + 2)l_w} = 474.2 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot (6 + 2) \cdot 3294) = 25.7 \text{ МПа;}$$

$$\tau_{wz} = \frac{Q_w}{\beta_z k_w l_w} = 474.2 \cdot 10^3 / (1 \cdot 6 \cdot 3294) = 24.0 \text{ МПа;}$$

$$\tau_{wth} = \frac{Q_w}{(k_w + 1.4)l_w} = 474.2 \cdot 10^3 / ((6 + 1.4) \cdot 3294) = 19.5 \text{ МПа;}$$

Здесь $Q_w = |Q|$.

Проверка по металлу шва

$$\tau_f = \sqrt{\sigma_{wf}^2 + \tau_{wf}^2} = (62.0^2 + 25.7^2)^{1/2} = 67.1 \text{ МПа} < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 215.0 \cdot 1.0 \cdot 1 = 215.0 \text{ МПа}$$

Проверка по металлу границы сплавления

$$\tau_z = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \tau_{wz}^2} = (57.9^2 + 24.0^2)^{1/2} = 62.6 \text{ МПа} < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 166.5 \cdot 1.0 \cdot 1 = 166.5 \text{ МПа.}$$

Проверка по металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины фланца

$$\tau_{th} = \sqrt{\sigma_{th}^2 + \tau_{wth}^2} = (46.9^2 + 19.5^2)^{1/2} = 50.8 \text{ МПа} < R_{th} \gamma_{wz} \gamma_c = 229 \cdot 1.0 \cdot 1 = 229.3 \text{ МПа.}$$

Условия прочности сварных швов соединения стенки профиля с фланцем выполняются.

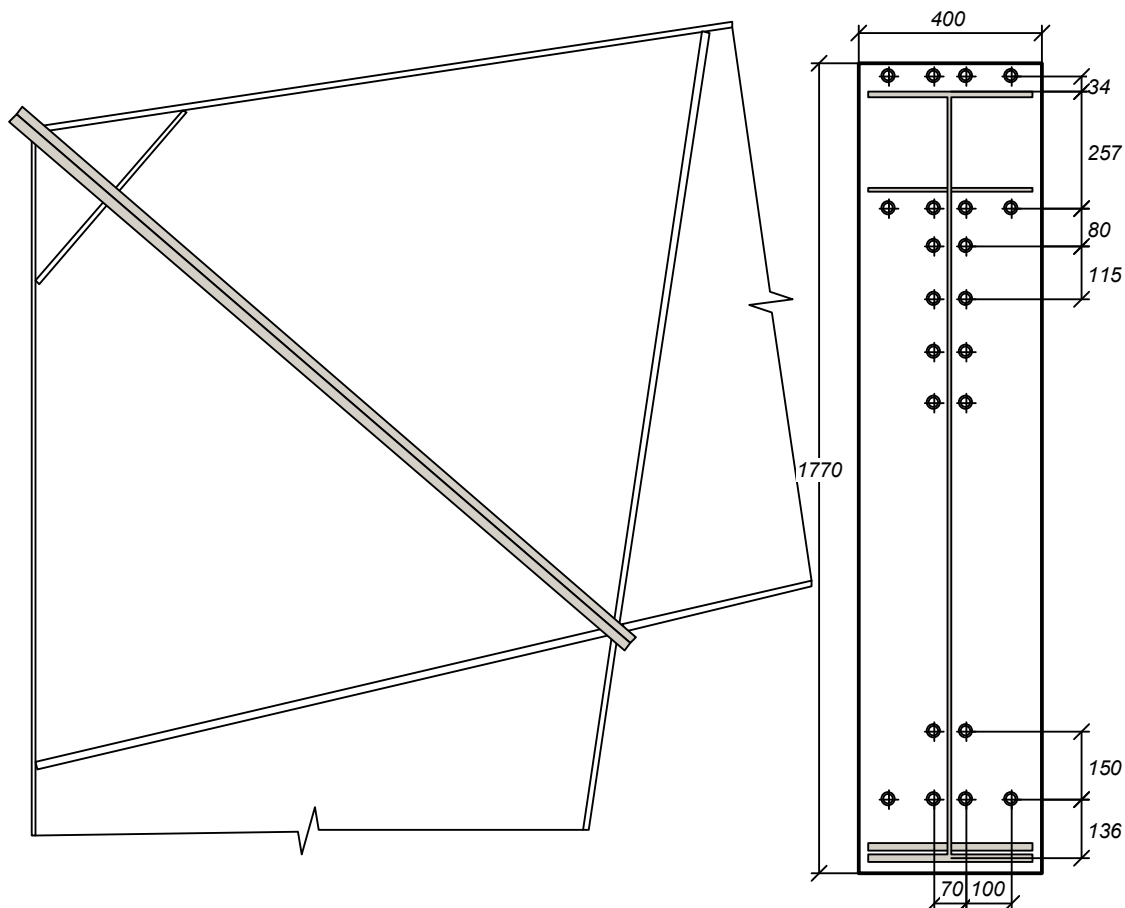


Рис. 3. Эскиз фланцевого узла

№	Коэффициенты использования	Значение
1	Болтов внешней полки	0.39
2	Болтов внутренней полки	0.00
3	Болтов стенки	0.89
4	На действие поперечной силы	0.55
5	Сварных швов полок	0.38
6	Сварных швов стенок	0.38

Таблица 3. Параметры фланцевого узла

Наименование	Значение
Марка стали фланца	С345
Расчетное сопротивление стали растяжению (МПа)	315
Толщина фланца (мм)	20
Ширина фланца (мм)	400
Высота фланца (мм)	1770
Диаметр болтов (мм)	20
Диаметр отверстия под болты (мм)	22
Расчетное усилие растяжения болта (кН)	188.7
Расчетное усилие предварительного натяжения болта (кН)	169.8

Гепард-А 4.1. Руководство пользователя

Количество болтов вдоль полки	4
Количество болтов вдоль стенки, примыкающей к наружной полке	4
Количество болтов вдоль стенки, примыкающей к внутренней полке	1
Высота продольного ребра с внешней стороны наружной полки (мм)	63
Длина продольных ребер (мм)	300
Расстояние между осями болтов полки (мм)	100
Расстояние между болтами ряда f1 и полкой (мм)	34
Расстояние между болтами ряда f2 и полкой (мм)	257
Расстояние между болтами ряда f3 и полкой (мм)	119
Расстояние между болтами ряда f4 и полкой (мм)	34
Расстояние между рядами болтов стенки (мм)	70
Расстояние от ряда болтов наружной полки до первого болта стенки (мм)	80
Расстояние от ряда болтов внутренней полки до первого болта стенки (мм)	150
Расстояние между болтами стенки, примыкающей к наружной полке (мм)	115
Расстояние между болтами стенки, примыкающей к внутренней полке (мм)	0
Катет сварного шва вдоль полки (мм)	10
Катет сварного шва вдоль стенки (мм)	6

3. Отчет по проектированию узла опирания ригеля на колонну

Расчет узла опирания ригеля на крайнюю колонну сбоку

Конструктивная схема узла представлена на рис. 1.

Требуемый набор проверок и требований норм при расчете узла сопряжения ригеля с колонной представлен в таблице.1.

Таблица 1 Требуемый набор проверок при расчете узла опирания ригеля на колонну

№ п.п.	Наименование проверки	Ссылка на нормативные документы и рекомендуемую литературу	Примечание
1	Проверка толщины опорного ребра	Согласно п. 7.10 [5]	
2	Проверка местной устойчивости опорной части ригеля.	Согласно п. 7.12 [5]	
3	Проверка напряжений смятия в торцах опорных ребер балки.	Согласно п. 7.12 [5]	
4	Расчет сварных швов опорного ребра, приваренного к нижнему поясу ригеля.	Согласно указаниям п. 7.12 [5] в соответствии с п. 11.2*	
5	Расчет сварных швов прикрепляющих ребро оголовка к опорной плите	Согласно методике на стр. 205, [10] или 395-397 [13]	Толщина плиты согласно рекомендациям на стр. 396 [13] принимается 12-20 мм, как для легких колонн.
6	Определение толщины ребра оголовка	Согласно методике на стр. 205, [10] или 395-397 [13]	
7	Определение высоты ребра оголовка	Определяются прочностью сварных швов согласно методике на стр. 205, [10] или 395-397 [13]	
8	Проверка на срез ребра оголовка колонны	Согласно методике на стр. 205, [10] или 395-397 [13]	
9	Проверка на срез стенки колонны	Согласно методике на стр. 205, [10] или 395-397 [13]	

Размеры сечения колонны

Высота сечения $H_c = 400$ мм;

Ширина полки $B_c = 220$ мм;

Толщина стенки $t_w = 6$ мм;

Толщина полки $t_f = 10$ мм;

Размеры сечения ригеля

Высота стенки $h_{ef} = \%HEF_R$ мм;

Ширина полки $B_r = 340$ мм;

Толщина стенки $t_{wr} = 6$ мм;

Толщина полки $t_{fr} = 16$ мм;

Принятые параметры материала и коэффициенты

Марка стали С255, табл. 51*[5].

Коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1.025$.

Нормативное и расчетное сопротивление стали при толщинах листа от 10 до 20 мм:

- нормативное сопротивление $R_{un} = 370$ МПа;
- расчетное сопротивление растяжению, сжатию, изгибу $R_y = 240$ МПа;
- расчетное сопротивление сдвигу $R_s = 0.58R_y = 0.58 \cdot 240 = 139.2$ МПа;
- расчетное сопротивление смятию вычисляется по формуле разд. 3 [5] (в соответствии с примечанием к таблице 52* при $\gamma_m = 1.1$)

$$R_p = \frac{R_{un}}{1.1} = 370/1.1 = 336 \text{ МПа};$$

Коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 0.95$.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$.

Нормативные данные для расчета сварных швов

$$\beta_f = 0.7, \beta_z = 1.$$

(принято по минимуму в запас, при этом допускается не указывать в рабочих чертежах вид сварки, положение шва, диаметр сварочной проволоки).

Расчетное сопротивление по металлу шва по табл. 56* [5] для сварочной проволоки Св-08Г2С:

$$R_{wf} = 215 \text{ МПа (см. табл. 4* [5])}.$$

Расчетное сопротивление по металлу границы сплавления:

$$R_{wz} = 0.45R_{un} = 0.45 \cdot 370 = 167 \text{ МПа (согласно табл. 3 [5] для стали С255)}.$$

Расчетное сопротивление стыковых соединений сжатию, растяжению, изгибу по пределу текучести согласно табл. 3 [5] для толщин листа от 10 до 20 мм:

$$R_{wy} = 0.85R_y = 0.85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа}.$$

Коэффициент $\gamma_{wf} = 1.0$.

Коэффициент $\gamma_{wz} = 1.0$.

Расчетные сочетания усилий

При расчете опорного узла используется расчетное сочетание усилий, соответствующее максимальной опорной реакции ригеля на колонну $N = 325.7$ МПа.

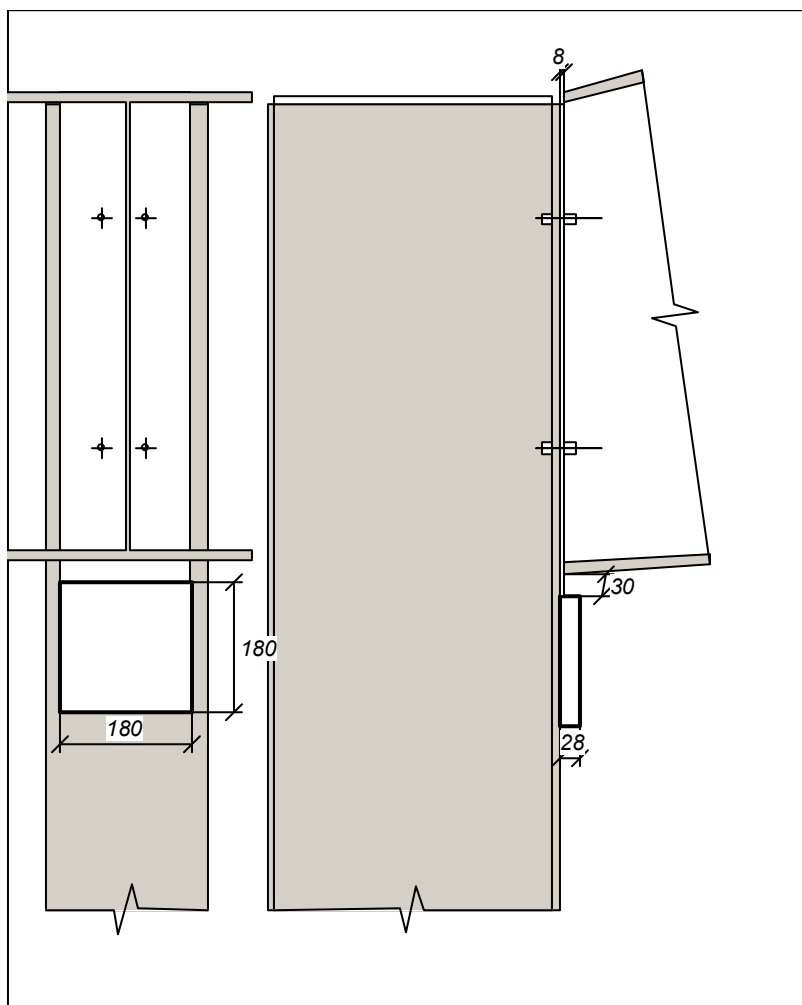


Рис. 1. Эскиз оголовка колонны

Определение ширины и длины столика

Длина столика принимается из условия прочности сварных швов, прикрепляющих столик к колонне ([8], стр. 398). Длина сварных швов, прикрепляющих столик по трем сторонам, вычисляется по формуле

$$l_w = \frac{1.3N}{(R_w \gamma_w \beta)_{\min} \gamma_c k_f}$$

Принимаем размер катета сварного шва $k_f = 9$ мм, тогда

$$l_w = 1.3 \cdot 325.7 \cdot 10^3 / (151 \cdot 1 \cdot 9) = 313 \text{ мм.}$$

Принимаем ширину столика равной $b_t = 180$. Длину столика l_t определяем из условия

$$l_t = \max(b_t, (l_w - b_t) / 2 + 5) = \max(180, (313 - 180) / 2 + 5) = 180 \text{ мм.}$$

Принимаем $l_t = 180$ мм.

Расчет опорного ребра на ригеле

Принимаем ширину торцевого опорного ребра на ригеле b_{hr} из условия:

$$b_{hr} = \min(b_t, b_{ef}) = \min(180, 340) = 180 \text{ мм (здесь } b_{ef} \text{ – ширина нижней полки ригеля).}$$

Толщину ребра принимаем равной $t_{rr} = 8$ мм.

Толщину столика принимаем, согласно [8], стр. 398, на 20 мм больше толщины ребра - $t_l = 28$ мм.

Расчет прочности нижних торцов ребра жесткости выполняем согласно п. 7.12, схема а) рис. 15 [5] для R_y , соответствующего толщине ребра $t_{rr} = 8$ мм.

$$\frac{N}{b_{hr} t_{rr}} = 325.7 \cdot 10^3 / (180 \cdot 8) = 226 \text{ МПа} \leq R_y = 240 \text{ МПа}$$

Условие прочности торцов ребра жесткости выполняется.

Выполняем подбор катетов сварных швов соединения опорного ребра с нижним поясом ригеля – согласно п. 7.12 [5] усилия должны восприниматься полностью сварными швами.

Расчет сварных швов выполняем в соответствии с п. 11.3* по формулам (122) и (123) [5].

Коэффициент условий работы согласно п. 4* [5]

$$\gamma_c = 1$$

Поскольку шов состоит из двух непрерывных участков, согласно п. 11.2 [5] расчетную длину шва принимаем на 20 мм меньше суммарной ширины опорного ребра:

$$l_w = 2 \cdot 180 - 20 = 160 \text{ мм}$$

Катет шва из условия прочности по металлу шва

$$k_f = \frac{N}{2R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c \beta_f l_w} = 325.7 \cdot 10^3 / (2 \cdot 215 \cdot 1.0 \cdot 1 \cdot 0.7 \cdot 160) = 6.76 \text{ мм}$$

Катет шва из условия прочности по металлу границы сплавления

$$k_f = \frac{N}{2R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c \beta_z l_w} = 325.7 \cdot 10^3 / (2 \cdot 167 \cdot 1.0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 160) = 6.1 \text{ мм}$$

Принимаем катет шва не менее $k_f = 9.0$ мм

№	Коэффициенты использования	Значение
1	Прочность на сжатие/смятие торцов опорного ребра ригеля	0.94
2	Прочность соединения опорного ребра с ригелем	0.75
3	Прочность соединения столика с колонной	0.15

Таблица 3. Параметры опорного узла колонны

Наименование	Значение
Опираение ригеля сбоку	
Катет сварного шва колонна-столлик (мм)	9
Размеры столика (высота*ширина*толщина) (мм)	180*180*28
Толщина торцевого ребра на ригеле (мм)	8
Ширина торцевого ребра на ригеле (мм)	180
Длина торцевого ребра на ригеле (мм)	672
Катет сварного шва ребро-ригель (мм)	9
Число болтов	4
Диаметр болтов (мм)	16
Расстояние между болтами по Y (мм)	60

Список нормативной и технической литературы.

1. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»;
2. СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций»;
3. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*), ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР: Москва, 1989;
4. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия
5. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. – 656 с.: ил.
6. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция, СНиП 2.01.07-85*, Москва 2011 г.
7. СП 14.13330.2014. "Строительство в сейсмических районах", Москва 2014 г.
8. СНиП II-23-81*. "Строительство в сейсмических районах", Переиздание СНиП II-23-81* по состоянию на 1 января 2000 г.
9. СНиП РК 2-03-30-2006 "Строительство в сейсмических районах", Алма-Ата, 2006 г.

Список использованных источников в отчетах по проектированию узлов

1. СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания»
2. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия, ЦИТП Госстроя СССР, 1986 с учетом изменения № 2 введенного 01.07.2003.
3. Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты на базальтовой основе. Техническая информация ТИ-084и2. ЗАО «Группа компаний «Электрон-ТМ-Самара» от 23.03.2005г.
4. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений.
5. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ЦИТП, 1991.
6. Карпиловский В.С., Крискунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD: - М.: Издательство АСВ, 2004 – 592 с.
7. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов/Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Веденников и др.; Под общ. ред. Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986 – 560 с., ил.
8. Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов./В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – 3-е изд, стер. – М.: высш. шк., 2004. – 551 с.: ил.
9. Методическое пособие по применению профилированных стальных настилов в строительстве. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. – 88 с.: ил.
10. Пособие к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции».
11. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления конструкций и оборудования (к СНиП 2.09.03).
12. ГОСТ 24379.0-80 Болты фундаментные. Общие технические условия. Конструкция и размеры.
13. СНиП 23-01-99 Строительная климатология.
14. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учеб. для вузов/Под ред. Г.А. Николаева. – М.: Высш. шк., 1990. – 446 с: ил.

15. Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Общая часть (Справочник проектировщика)/Под общ. ред. заслуж. строителя РФ, лауреата гос. премии СССР В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд. АСВ, 1998. – 576 стр. с илл.
16. Металлические конструкции. В 3т. Т.2. Конструкции зданий: Учеб. для строит. вузов./В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. – 3-е изд, стер. – М.: высш. шк., 2004. – 528 с.: ил.
17. Металлические конструкции. В 3т. Т.2. Общая часть (Справочник проектировщика)/Под общ. ред. заслуж. строителя РФ, лауреата гос. премии СССР В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд. АСВ, 1998. – 512 стр. с илл.
18. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. – 656 с.: ил.
19. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкции. Разраб. ЦНИИПСК им. Мельникова – ЦБНТИ. Минмонтажспецстроя СССР, 1989.
20. Общие правила проектирования стальных конструкций. СП 53-102-2004. ЦНИИСК им. Кучеренко, ЦНИИПСК им. Мельникова, институт “Энергосетьпроект”, Москва, 2004 г.