



CFSteel

Версия 4.3

Том I

Руководство пользователя

2022

НПК Дельта Инжиниринг оставляет за собой право на внесение изменений в данный документ без предварительного уведомления.

Никакая часть данного документа не может быть воспроизведена или передана в любой форме и любыми способами в каких-либо целях без письменного согласия НПК Дельта Инжиниринг.

© 2008 -2022 НПК Дельта Инжиниринг с сохранением всех прав

ВВЕДЕНИЕ	6
1. СЕЧЕНИЕ.....	8
1.1. Общие замечания.....	8
1.2. Типы поперечных сечений	8
1.2.1. Швеллер.....	8
1.2.2. С-образное сечение	9
1.2.3. С-образное сечение с двойными отгибами	9
1.2.4. С-образное сечение с рифом на стенке	10
1.2.5. Сигма-образное сечение	10
1.2.6. Z-образное сечение.....	11
1.2.7. Двойной швеллер.....	11
1.2.8. Двойной С-образный профиль	12
1.2.9. Двойной С-образный профиль с двойными отгибами.....	12
1.2.10. Двойной С-образный профиль с рифом на стенке	13
1.2.11. Двойной Сигма-профиль	13
1.3. Библиотека сечений.....	14
1.3.1. Редактор библиотеки сечений.....	14
1.3.2. Создание библиотеки сечений без применения Редактора	17
1.4. Библиотека сталей	18
1.4.1. Редактор библиотеки сталей.....	18
1.4.2. Создание библиотеки сталей без применения Редактора.....	20
1.5. Вычисление геометрических характеристик сечения.....	21
1.5.1. Общие замечания.....	21
2. ЭЛЕМЕНТЫ	26
2.1. Общие замечания.....	26
2.2. Ослабление поперечного сечения отверстиями	27
2.3. Расчёт по СП 260.1325800	28
2.3.1. Растянутые элементы	28
2.3.1.1. Методика расчёта	28
2.3.1.2. Ввод данных.....	29
2.3.1.3. Результаты расчёта	33
2.3.2. Центральные сжатые элементы.....	35
2.3.2.1. Методика расчёта	35
2.3.2.2. Ввод данных.....	36
2.3.2.3. Результаты расчёта	38
2.3.3. Сжатые с изгибом элементы.....	51
2.3.3.1. Методика расчёта	51

2.3.3.2. Ввод данных.....	53
2.3.3.3. Результаты расчёта.....	56
2.4. Расчёт по Eurocode (EN)	74
2.4.1. Общие замечания.....	74
2.4.2. Национальные приложения.....	74
2.4.3. Растянутые элементы	78
2.4.3.1. Методика расчёта	78
2.4.3.2. Ввод данных.....	80
2.4.3.3. Результаты расчёта.....	81
2.4.4. Центральные сжатые элементы.....	84
2.4.4.1. Методика расчёта	84
2.4.4.2. Ввод данных.....	84
2.4.4.3. Результаты расчёта.....	86
2.4.5. Сжатые с изгибом элементы.....	90
2.4.5.1. Методика расчёта	90
2.4.5.2. Ввод данных.....	97
2.4.5.3. Результаты расчёта.....	100
2.5. Расчёт по North American Specification AISI S100.....	115
2.5.1. Растянутые элементы	115
2.5.1.1. Методика расчёта	115
2.5.1.2. Ввод данных.....	118
2.5.1.3. Результаты расчёта.....	119
2.5.2. Центральные сжатые элементы.....	126
2.5.2.1. Методика расчёта	126
2.5.2.2. Ввод данных.....	130
2.5.2.3. Результаты расчёта.....	132
2.5.3. Сжатые с изгибом элементы.....	134
2.5.3.1. Методика расчёта	134
2.5.3.2. Ввод данных.....	138
2.5.3.3. Результаты расчёта.....	139
3. ПАРАМЕТРЫ	142
3.1. Параметры расчёта	142
3.2. Единицы измерения и количество десятичных знаков.....	148
3.3. Параметры программы.....	148
ЛИТЕРАТУРА	150

ВВЕДЕНИЕ

Данная версия расчётного комплекса CFSteel предназначена для расчёта конструктивных элементов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей на растяжение, центральное сжатие и сжатие с изгибом. Кроме того, отдельно могут быть вычислены геометрические характеристики полного сечения профиля, редуцированные характеристики эффективного сечения и характеристики сечения нетто. Имеется модуль расчёта ферм из холодногнутых профилей.

Предусмотрены следующие типы поперечных сечений холодногнутых профилей: Швеллер, С-образное сечение, С-образное сечение с двойными отгибами, С-образное сечение с рифом на стенке, Сигма- и Z-образное сечение, а также спаренные профили из перечисленных сечений (кроме Z-профиля). Их размеры определяются пользователем.

Реализованы расчёты по нормам России СП 260.1325800, Еврокодам EN и североамериканским нормам North American Specification (AISI S100).

Для расчёта по EN в программе предустановлены Параметры, определяемые на национальном уровне (Nationally Determined Parameters), которые приводятся в Национальных Приложениях (National Annex) стран Евросоюза и некоторых других государств, применяемых Еврокоды. Определены параметры, содержащиеся в основном тексте EN (CEN), а также национально определяемые параметры для следующих государств: Austria, Республика Беларусь, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Республика Казахстан, Lithuania, Luxembourg, Malaysia, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Singapore, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, United Kingdom, Cyprus.

В расчётах по AISI S100 реализованы методы: ASD, LRFД и LSD.

Для растянутых стержней из швеллеров возможен также расчёт по методикам, предложенным G.L. Kulak и E.Y. Wu (Кулак и Ву), C.L. Pan (Пан), L. H. Teh, B.P. и Gilbert (Тех и Джильберт).

Интерфейс приложения доступен на русском и английском языках.

Программа CFSteel предназначена для подготовленных пользователей, знающих нормы и имеющих опыт проектирования подобных конструкций. Кроме того, пользователь должен принимать во внимание допущения и положения расчёта, принятые в программе и изложенные в данном Руководстве пользователя и в Руководстве пользователя по расчёту ферм.

Наряду с Международной системой единиц СИ, расчёты могут выполняться в Американской системе единиц (U.S. customary).

Документация по расчётному комплексу CFSteel состоит из трёх частей. Том I. Руководство пользователя. Том II. Верификационные расчёты. CFSTruss. Том III. Расчёт ферм из стальных тонкостенных холодногнутых профилей. Руководство пользователя.

В Руководстве пользователя Том I содержится общее описание программы, способы работы с ней; подробно изложены расчёты стержневых элементов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей, включая методики расчёта по различным нормам.

В Томе II приведены результаты многочисленных расчётов по программе, которые сопоставляются с результатами расчётов, выполненных авторами программы ручным способом

и/или данными расчётов из других источников, а также результатами испытаний, приведёнными в научно-технической литературе.

Том III посвящён расчёту ферм из стальных тонкостенных холодногнутых профилей.

*С уважением,
коллектив разработчиков CFSteel*

www.CFSteel.ru
deltaing@mail.ru

1. СЕЧЕНИЕ

1.1. Общие замечания

Программа работает со следующими типами сечений холодногнутых профилей: Швеллер, С-образное сечение, С-образное сечение с двойными отгибами, С-образное сечение с рифом на стенке, Сигма- и Z-образное сечение, спаренные профили из перечисленных сечений (кроме Z-сечения). (Рисунок 1.1).

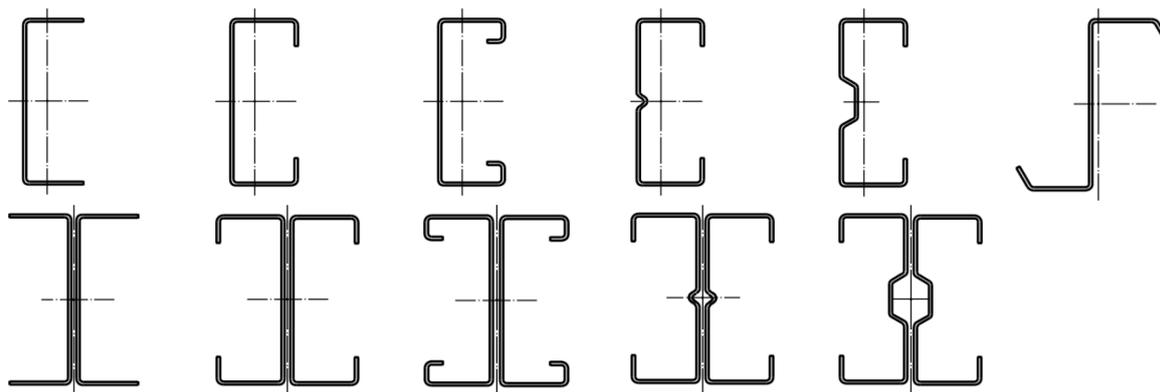


Рисунок 1.1 – Типы поперечных сечений

1.2. Типы поперечных сечений

1.2.1. Швеллер

Сечение в виде швеллера показано на Рисунке 1.2. Предусмотрена возможность разных ширин верхнего и нижнего пояса. Допускаемые значения размеров: высота сечения $h = 80 \dots 400$ мм, номинальная толщина $t = 0,7 \dots 4$ мм, ширина пояса $b_f = 40 \dots 200$ мм, внутренний радиус закругления $r = 1 \dots 8$ мм.

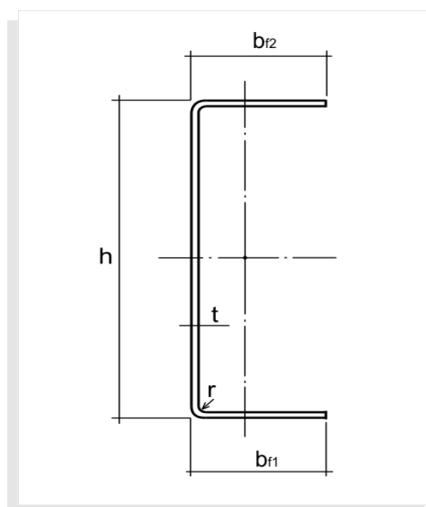


Рисунок 1.2 – Швеллер

1.2.2. С-образное сечение

С-образное сечение показано на Рисунке 1.3. В некоторых случаях предусмотрена возможность разных ширин верхнего и нижнего пояса, разных ширин и углов наклона отгибов. Допускаемые значения размеров: $h = 80...400$ мм, $t = 0,7...4$ мм, $b_f = 40...200$ мм, $c = 5$ мм... $1/3$ h , $\alpha = 60...120^\circ$, $r = 1...8$ мм.

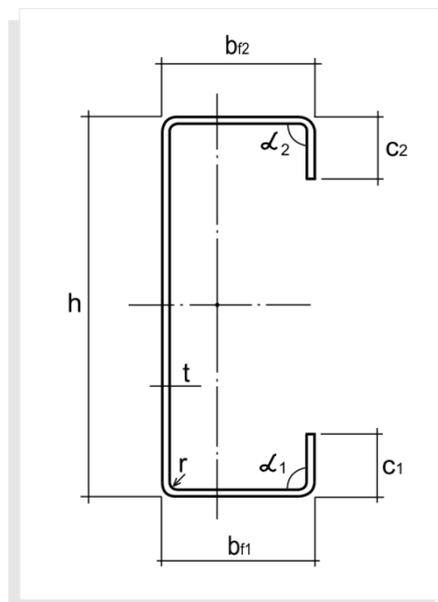


Рисунок 1.3 – С-образное сечение

1.2.3. С-образное сечение с двойными отгибами

С-образное сечение с двойными отгибами показано на Рисунке 1.4. В некоторых случаях предусмотрена возможность разных ширин верхнего и нижнего пояса, разных ширин верхних и нижних вертикальных частей отгибов, а также разных ширин и углов наклона вторых (внутренних) отгибов. Допускаемые значения размеров: $h = 80...400$ мм, $t = 0,7...4$ мм, $b_f = 40...200$ мм, $c = 5$ мм... $1/5$ h , $d < 1/3 b_f$, $\alpha = 90...135^\circ$, $r = 1...8$ мм.

При вычислении редуцированных характеристик эффективного сечения считается, что вертикальные части отгибов всегда эффективны.

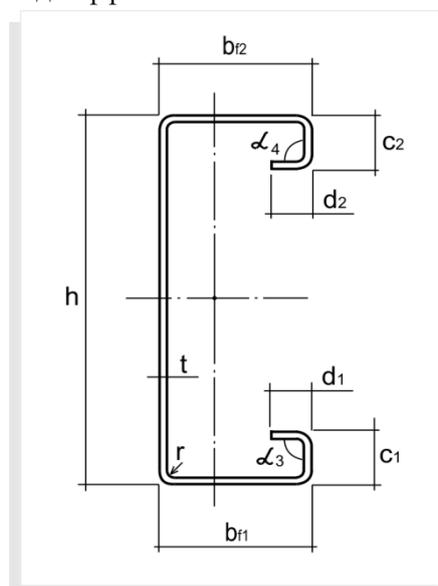


Рисунок 1.4 - С-образное сечение с двойными отгибами

1.2.4. С-образное сечение с рифом на стенке

С-образное сечение с рифом на стенке показано на Рисунке 1.5. В некоторых случаях предусмотрена возможность разных ширин верхнего и нижнего пояса, разных ширин и углов наклона отгибов для разных поясов. Радиусы всех закруглений одинаковые. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $d \geq 5$ мм, $1,5d \leq h_1 \leq 3d$, $c = 5$ мм $\dots 1/3 h$, $r = 1 \dots 8$ мм. В данной версии программы углы α_1 и α_2 могут принимать значение только 90° .

При вычислении редуцированных характеристик эффективного сечения считается, что жёсткость рифа в направлении оси, перпендикулярной стенке достаточна для того, чтобы в любом случае не происходили его относительные перемещения вдоль этой оси. Возможность потери устойчивости частей стенки между рифом и поясами сохраняется.

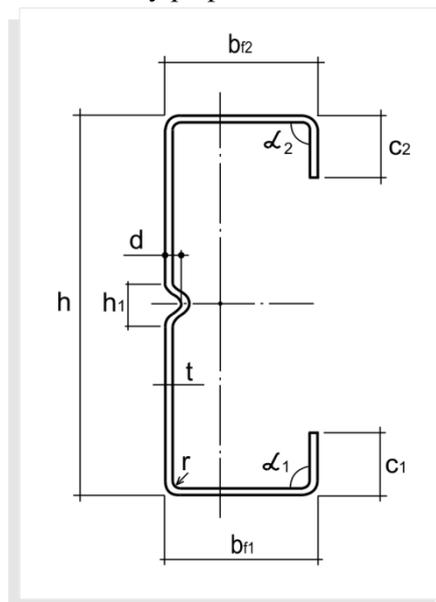


Рисунок 1.5 - С-образное сечение с рифом на стенке

1.2.5. Сигма-образное сечение

Сигма-образное сечение показано на Рисунке 1.6. В некоторых случаях предусмотрена возможность разных ширин верхнего и нижнего пояса, разных ширин и углов наклона отгибов для разных поясов. Радиусы всех закруглений одинаковые. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $h_1 = 40$ мм $\dots 4/5 h$, $h_2 = h_1 - 2d \dots h_1 - d/3$, $d = 8$ мм $\dots b_f / 2$, $c = 5$ мм $\dots 1/3 h$, $r = 1 \dots 8$ мм. В данной версии программы углы α_1 и α_2 могут принимать значение только 90° .

При вычислении редуцированных характеристик эффективного сечения считается, что жёсткости двух наклонных участков стенки в направлении оси, перпендикулярной стенке, достаточны для того, чтобы при любой нагрузке не происходило их перемещение вдоль этой оси. Возможность потери устойчивости средней части стенки и частей стенки между наклонными участками и поясами сохраняется.

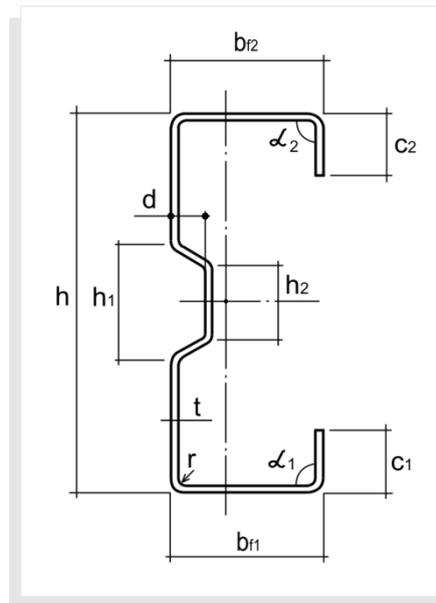


Рисунок 1.6 - Сигма-образное сечение

1.2.6. Z-образное сечение

Z-образное сечение показано на Рисунке 1.7. Предусмотрена возможность разных ширин верхнего и нижнего пояса, разных ширин и углов наклона отгибов для разных поясов. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $c = 10$ мм... $1/3 h$, $\alpha = 45 \dots 135^\circ$, $r = 1 \dots 8$ мм.

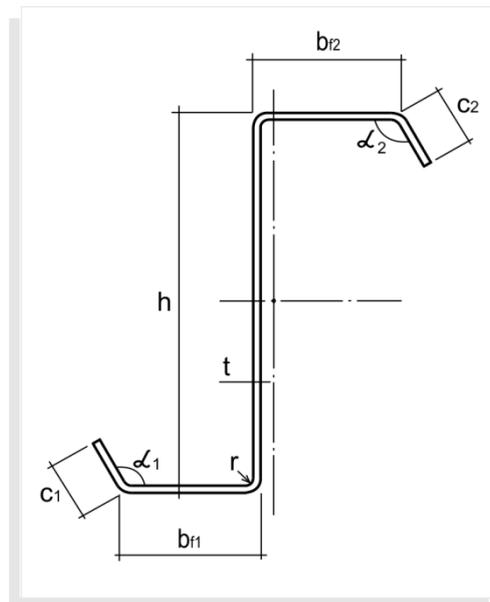


Рисунок 1.7 - Z-образное сечение

1.2.7. Двойной швеллер

Сечение, составленное из двух швеллеров, показано на Рисунке 1.8. Расстояние между профилями $S \geq 0$. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $r = 1 \dots 8$ мм. Двойной швеллер может быть составлен только из швеллеров с одинаковыми ширинами поясов.

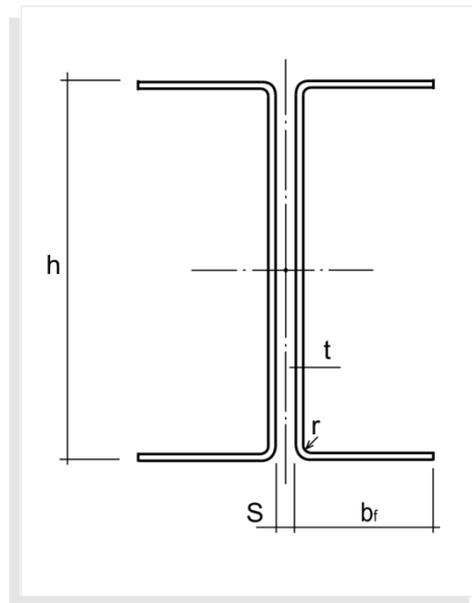


Рисунок 1.8 – Двойной швеллер

1.2.8. Двойной С-образный профиль

Сечение двойного С-образного профиля показано на Рисунке 1.9. Сечение состоит из двух симметричных С-образных профилей. Расстояние $S \geq 0$. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $c = 10$ мм $\dots 1/3 h$, $\alpha = 90^\circ$, $r = 1 \dots 8$ мм.

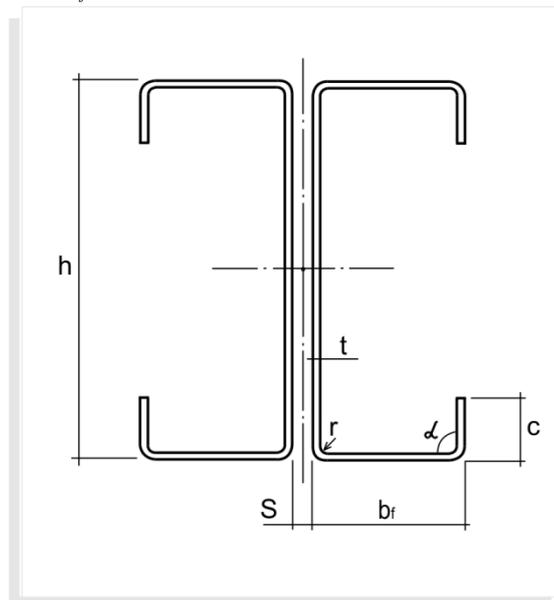


Рисунок 1.9 – Двойной С-образный профиль

1.2.9. Двойной С-образный профиль с двойными отгибами

Сечение двойного С-образного профиля с двойными отгибами показано на Рисунке 1.10. Сечение состоит из двух симметричных С-образных профилей с двойными отгибами. Расстояние между профилями $S \geq 0$. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $c = 5$ мм $\dots 1/5 h$, $d < 1/3 b_f$, $\alpha = 90 \dots 135^\circ$, $r = 1 \dots 8$ мм.

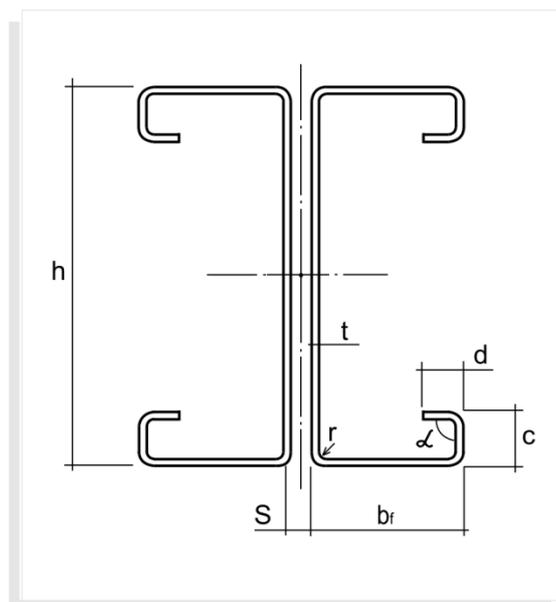


Рисунок 1.10 – Двойной С-образный профиль с двойными отгибами

1.2.10. Двойной С-образный профиль с рифом на стенке

Сечение двойного С-образного профиля с рифом на стенке показано на Рисунке 1.11. Сечение состоит из двух симметричных С-профилей с рифом на стенке. Расстояние между профилями $S \geq 0$. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $d \geq 5$ мм, $1,5d \leq h_1 \leq 3d$, $c = 5$ мм... $1/3 h$, $\alpha = 90^\circ$, $r = 1 \dots 8$ мм.

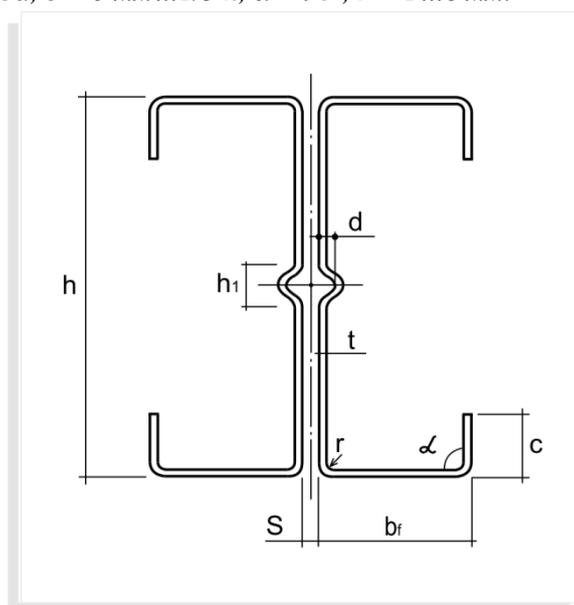


Рисунок 1.11 – Двойной С-образный профиль с рифом на стенке

1.2.11. Двойной Сигма-профиль

Сечение двойного Сигма-образного профиля показано на Рисунке 1.12. Сечение состоит из двух симметричных Сигма-профилей. Расстояние между профилями $S \geq 0$. Допускаемые значения размеров: $h = 80 \dots 400$ мм, $t = 0,7 \dots 4$ мм, $b_f = 40 \dots 200$ мм, $c = 10$ мм... $1/3 h$, $\alpha = 90^\circ$, $r = 1 \dots 8$ мм.

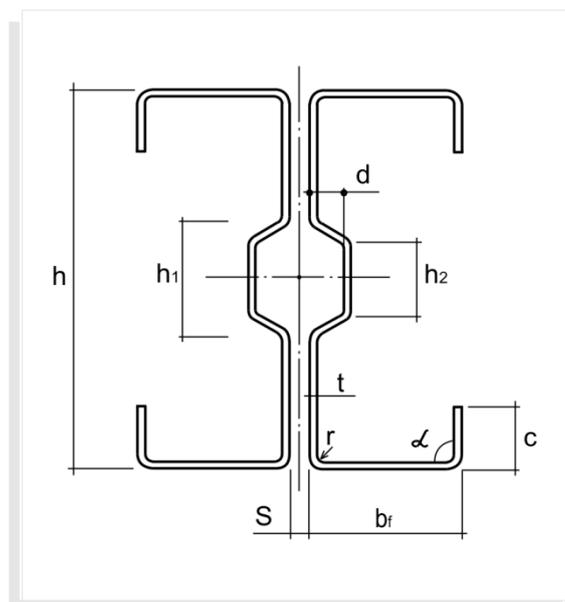


Рисунок 1.12 – Двойной Сигма-образный профиль

1.3. Библиотека сечений

Для удобства в программе уже предустановлены некоторые сортаменты сечений. Тем не менее, пользователь имеет возможность сформировать собственную библиотеку сортаментов. Это можно сделать двумя способами: воспользоваться встроенным в программу Редактором библиотеки сечений или создать самостоятельно текстовый файл (файлы) с данными о сечениях по оговоренным правилам и поместить его (их) в специальную папку. Пользователь должен иметь права Администратора. При попытке редактирования библиотек вы можете столкнуться с невозможностью сохранения изменений в поставляемой с дистрибутивом программы базе (файле). В этом случае сначала сделайте копию базы (команда *Дублировать*). После чего её можно редактировать и сохранять.

1.3.1. Редактор библиотеки сечений

Редактор библиотеки сечений позволяет создавать новые базы сечений, редактировать уже имеющиеся, а также удалять ненужные базы из библиотеки, что позволяет поддерживать информацию о сечениях в актуальном состоянии.

Чтобы загрузить Редактор, необходимо в главном меню программы выбрать пункт *Файл*, затем *Библиотека сечений*. Главное окно Редактора показано на Рисунке 1.13.

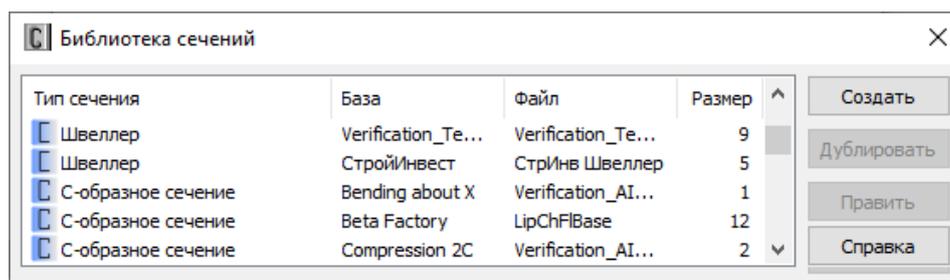


Рисунок 1.13 - Главное окно Редактора Библиотеки сечений

Для создания новой базы сечений выбрать *Создать*, после чего в появившемся окне (Рисунок 1.14) выбрать *Тип профиля* из списка профилей, которые доступны в программе и произвольное *Имя базы профилей*. *Имя файла*, в который будет записана база, вводится без пути и расширения и должно отвечать правилам формирования имён файлов в используемой операционной системе.

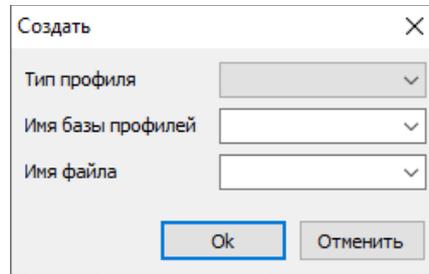


Рисунок 1.14 - Окно *Создать* Редактора библиотеки сечений

После нажатия ОК появляется окно ввода данных (Рисунок 1.15).

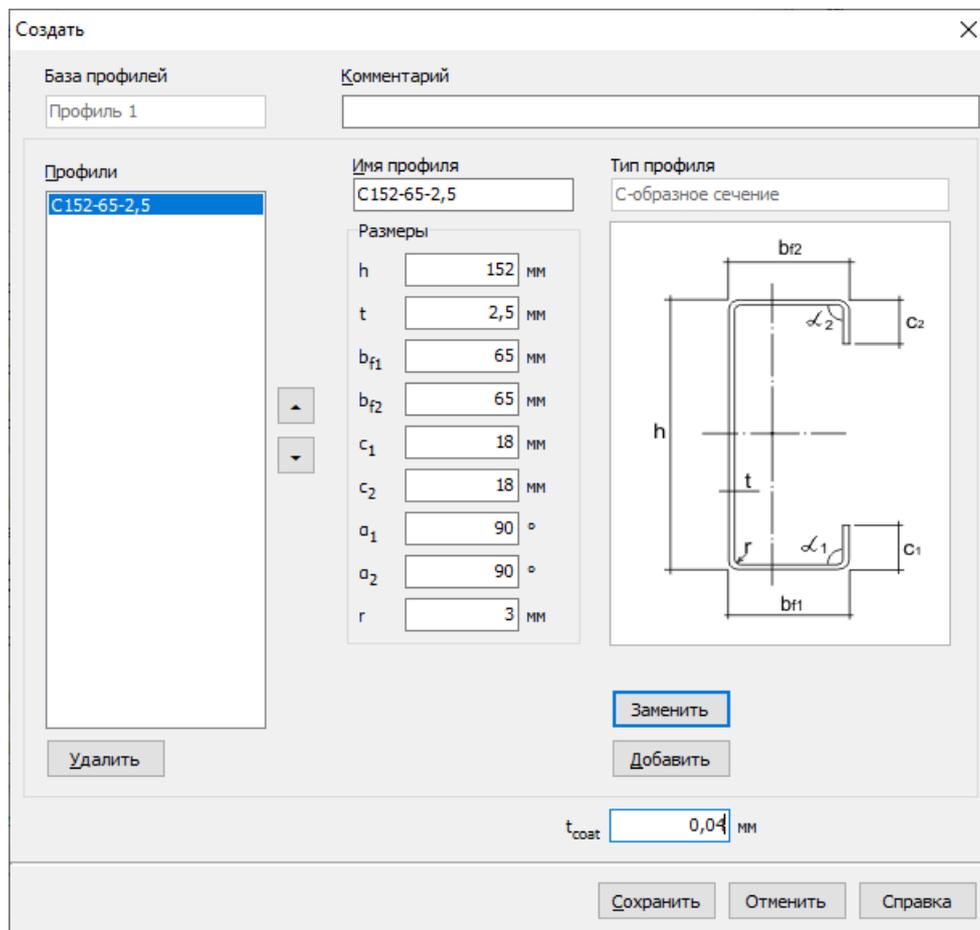


Рисунок 1.15 - Окно Ввода данных при создании базы сечений

Необходимо ввести имя сечения внутри создаваемой базы в поле *Имя профиля*. После чего ввести соответствующие номинальные значения размеров сечения, толщину покрытия (например, цинкового) и выбрать *Добавить*. Сечение с введённым именем и размерами появится в списке профилей. Затем вводятся данные для следующего сечения с выбором

Добавить, и т.д. Если для какого-либо сечения введены неверные данные, то их необходимо исправить и нажать *Заменить*. По кнопке *Удалить* выполняется удаление из списка выделенного сечения. По кнопкам  и  происходит перемещение выделенного сечения по списку профилей. После ввода всех сечений данной базы профилей и нажатия кнопки *Сохранить* происходит сохранение базы.

Чтобы внести какие-либо изменения в уже имеющуюся базу профилей необходимо выбрать в Главном окне *Править*. Появится окно, приведённое на Рисунке 1.16, где в поле *Имя профиля* можно отредактировать наименование сечения, а также *Размеры* сечения и толщину покрытия стали. Если далее выбрать *Заменить*, то происходит замена старого сечения на изменённое. Если выбрать *Добавить*, то в базу добавляется новое сечение с введёнными данными.

Рисунок 1.16 - Окно внесения изменений в существующую базу профилей

Для того, чтобы переименовать уже имеющуюся базу профилей, переназначить имя файла для базы без изменения содержания, следует воспользоваться опцией *Переименовать* в главном окне Редактора библиотеки сечений.

Создать новую базу сечений иногда удобно на основе уже имеющейся. Для этого нужно выбрать в главном окне *Дублировать*, ввести новое имя базы и обязательно новое имя файла. После нажатия ОК база появляется в списке сортиментов главного окна. Выделив её и выбрав *Править*, можно средствами редактора создать требуемую базу профилей.

Для удаления какой-либо базы профилей из Библиотеки необходимо выбрать эту базу в главном окне и нажать *Удалить*.

1.3.2. Создание библиотеки сечений без применения Редактора

Пользователь может самостоятельно создать библиотеку сечений. Она должна состоять из одного или нескольких текстовых (UTF-8) файлов. Подразумевается, что каждый файл содержит одну базу (сортамент) профилей. Количество сечений в базе не ограничено и должно быть больше нуля. Структура файла должна отвечать следующим требованиям:

В первой строке указывается тип сечения из списка:

Channel	Швеллер
LippedChannelFlate	C-образный профиль
LippedChannelPLUS	C-образный профиль с двойными отгибами
LippedChannelRif	C-образный профиль с рифом на стенке
SigmaProfileLip	Сигма-профиль
LippedZedFlate	Z-образный профиль

Во второй строке указывается наименование сортамента и (или) производитель профилей.

В третьей строке приводится примечание к данной базе профилей (если примечания нет, то строка должна оставаться пустой).

В четвёртой строке приводится толщина покрытия стали (например, толщина цинкового покрытия) в см.

В пятой и последующих строках через пробелы приводятся название сечения в кавычках и его размеры в см с учётом ограничений, приведённых в п.1.2.

Для сечения Channel приводятся (Рисунок 1.2):

“Название” $h t b_{f1} b_{f2} r$

.....

Для сечения LippedChannelFlate приводятся (Рисунок 1.3):

“Название” $h t b_{f1} b_{f2} c_1 c_2 a_1 a_2 r$

.....

Для сечения LippedChannelPLUS приводятся (Рисунок 1.4):

“Название” $h t b_{f1} b_{f2} c_1 c_2 d_1 d_2 a_3 a_4 r$

.....

Для сечения LippedChannelRif приводятся (Рисунок 1.5):

“Название” $h t b_{f1} b_{f2} h_1 0.2(\text{всегда}) d c_1 c_2 a_1 a_2 r (a_1=a_2=90 \text{ всегда})$

.....

Для сечения SigmaProfileLip приводятся (Рисунок 1.6):

“Название” $h t b_{f1} b_{f2} h_1 h_2 d c_1 c_2 a_1 a_2 r (a_1=a_2=90 \text{ всегда})$

.....

Для сечения LippedZedFlate приводятся (Рисунок 1.7):

“Название” $h t b_{f1} b_{f2} c_1 c_2 a_1 a_2 r$

.....

На Рисунке 1.17 приведён пример файла сортамента Сигма-профилей с наименованием производителя *Delta Factory*, пустой строкой комментариев, толщиной цинкового покрытия $t_{coat} = 0,004$ см. В сортамент входят 12 профилей с соответствующими названиями и размерами.

```
SigmaProfileLip
Delta Factory
```

```
0.004
```

```
"Sgm 150-45-1,0" 15 0.1 4.5 4.5 6 4 1 1.2 1.2 90 90 0.3
"Sgm 150-45-1,5" 15 0.15 4.5 4.5 6 4 1 1.2 1.2 90 90 0.3
"Sgm 150-45-2,0" 15 0.2 4.5 4.5 6 4 1 1.2 1.2 90 90 0.3
"Sgm 150-45-2,5" 15 0.25 4.5 4.5 6 4 1 1.2 1.2 90 90 0.3
"Sgm 250-65-1,5" 25 0.15 6.5 6.5 6 4 1 1.8 1.8 90 90 0.3
```

"Sgm 250-65-2,0"	25	0.2	6.5	6.5	6	4	1	1.8	1.8	90	90	0.3
"Sgm 250-65-2,5"	25	0.2	6.5	6.5	6	4	1	1.8	1.8	90	90	0.3
"Sgm 250-65-3,0"	25	0.3	6.5	6.5	6	4	1	1.8	1.8	90	90	0.3
"Sgm 350-80-1,5"	35	0.15	8	8	6	4	1	2	2	90	90	0.3
"Sgm 350-80-2,0"	35	0.2	8	8	6	4	1	2	2	90	90	0.3
"Sgm 350-80-2,5"	35	0.25	8	8	6	4	1	2	2	90	90	0.3
"Sgm 350-80-3,0"	35	0.3	8	8	6	4	1	2	2	90	90	0.3

Рисунок 1.17 – Пример файла базы сечений

Файл должен быть сохранён в папке, путь к которой можно найти в пункте главного меню *Настройки* → *Программа* (п.3.3). Расширение файла *.sct. На имя файла не накладывается никаких дополнительных ограничений кроме правил, принятых в используемой операционной системе.

Если формат базы сечений не соответствует установленному, то при попытке обращения к ней выдаётся окно с информацией об этом несоответствии.

1.4. Библиотека сталей

В программе уже предустановлены некоторые стали. Тем не менее, пользователь может сформировать собственную библиотеку сталей. Это можно сделать двумя способами: воспользоваться встроенным Редактором библиотеки сталей или создать самостоятельно текстовый файл (файлы) по оговоренным правилам и поместить его (их) в специальную папку. Пользователь должен иметь права Администратора.

1.4.1. Редактор библиотеки сталей

Редактор библиотеки сталей позволяет создавать новые базы сталей, редактировать имеющиеся, а также удалять ненужные базы из библиотеки.

Чтобы загрузить Редактор, необходимо в главном меню программы выбрать пункт *Файл*, затем *Библиотека сталей*. Главное окно редактора показано на Рисунке 1.18.

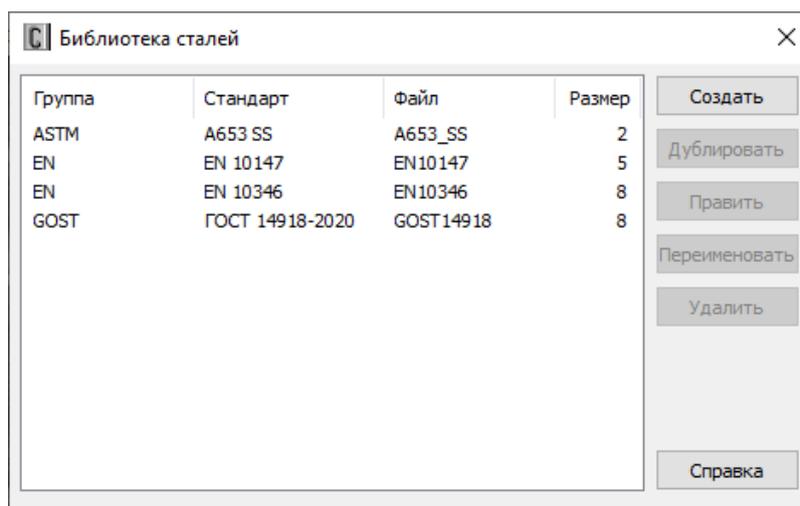


Рисунок 1.18 - Главное окно Редактора библиотеки сталей

Для создания новой базы сталей следует выбрать *Создать*, после чего в появившемся окне (Рисунок 1.19) ввести *Группу стандартов*, *Стандарт* и *Имя файла*, в который будет

записана база сталей. *Группа стандартов* – это произвольная строка, обозначающая, к какой группе стандартов относится создаваемый *Стандарт*. Например, EN, ГОСТ и т.д. *Стандарт* - это произвольная строка наименования стандарта. *Имя файла* вводится без пути и расширения и должно отвечать правилам формирования имён файлов в используемой операционной системе.

Рисунок 1.19 - Окно *Создать* Редактора библиотеки сталей

После нажатия ОК появляется окно ввода данных (Рисунок 1.20).

Рисунок 1.20 - Окно Ввода данных

В поле *Сталь* вводится соответствующая строка названия стали; затем вводятся значения предела текучести f_y и предела прочности f_u стали. По нажатии на кнопку *Добавить* происходит внесение стали в список сталей для данного стандарта. По кнопке *Удалить* выполняется удаление из списка выделенной стали. По кнопкам \uparrow и \downarrow происходит перемещение выделенной стали по списку сталей. После набора всех сталей данного стандарта и нажатия кнопки *Сохранить* происходит сохранение базы сталей. Если какое-либо значение введено неправильно, то его можно исправить и нажать *Заменить*.

Чтобы внести какие-либо изменения в имеющуюся базу сталей необходимо выбрать в Главном окне *Править*. Появится окно, приведённое на Рисунке 1.21, где в поле *Сталь* можно отредактировать наименование выделенной в списке стали, её предел текучести, предел прочности. После чего необходимо нажать *Заменить*. По этой кнопке сохраняются данные для данной стали. Если же после редактирования выбрать *Добавить*, то сталь с параметрами из поля *Сталь*, с соответствующими *пределом текучести* и *пределом прочности* будет добавлена в список сталей.

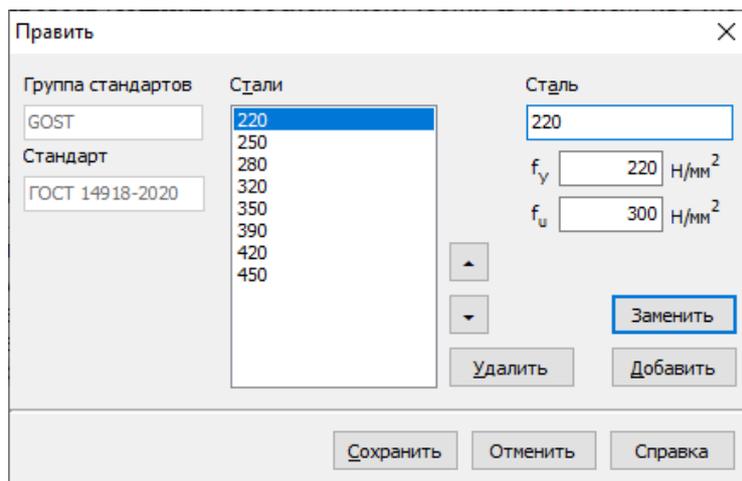


Рисунок 1.21 - Окно внесения изменений в существующую базу сталей

Для того, чтобы переименовать уже имеющийся стандарт, переназначить имя файла для стандарта или отнести стандарт к другой группе стандартов без изменения содержания, следует воспользоваться опцией *Переименовать*.

Создать новую базу сталей иногда удобно на основе уже имеющейся. Для этого нужно выбрать в главном окне *Дублировать*, ввести новое наименование стандарта, группу стандартов (если требуется) и обязательно новое имя файла. После нажатия ОК база появляется в списке стандартов главного окна. Выделив её и выбрав *Править*, можно средствами редактора создать требуемую базу сталей.

Для удаления какого-либо стандарта из Библиотеки сталей необходимо выбрать этот стандарт в главном окне и нажать *Удалить*.

В расчётах по СП 260 для получения расчётных значений введённые прочностные характеристики делятся на коэффициент надёжности по материалу γ_m в соответствии с п.6.3 [2].

1.4.2. Создание библиотеки сталей без применения Редактора

Пользователь может самостоятельно создать библиотеку сталей. Она может состоять из одного или нескольких текстовых файлов. Подразумевается, что каждый файл содержит один стандарт сталей. Количество сталей в стандарте не ограничено и должно быть больше нуля. Структура файла должна отвечать следующим требованиям:

В первой строке указывается группа стандартов.

Во второй строке указывается наименование стандарта.

В третьей и последующих строках указываются данные для каждой стали, входящей в данную базу. Каждая строка состоит из трёх позиций, разделённых одним пробелом. В первой позиции в кавычках приводится наименование стали; во второй значение предела текучести в кН/см^2 ; в третьей значение предела прочности в кН/см^2 . На Рисунке 1.22 приведён пример файла базы сталей.

```
EN
EN 10147
"$220GD" 22 30
"$250GD" 25 33
"$280GD" 28 36
"$320GD" 32 39
"$350GD" 35 42
```

Рисунок 1.22 – Пример файла базы сталей

Файл должен быть сохранён в папке, путь к которой можно найти в пункте главного меню *Настройки* → *Программа* (п.3.3). Расширение файла *.stl. На имя файла не накладывается никаких дополнительных ограничений кроме правил, принятых в используемой операционной системе.

Если формат базы сталей не соответствует установленному, то при попытке обращения к ней выдаётся окно с информацией об этом несоответствии.

1.5. Вычисление геометрических характеристик сечения

1.5.1. Общие замечания

В программе могут быть отдельно вычислены геометрические характеристики сечений, приведённых в п. 1.1. Одинарные профили могут быть несимметричны относительно оси, перпендикулярной стенке. Спаренные профили должны состоять из сечений, симметричных относительно оси, перпендикулярной стенке.

Пользователь имеет возможность определить характеристики полного сечения, эффективного сечения и сечения нетто.

Сечения могут быть выбраны из базы сечений или их размеры вводятся пользователем в ходе стандартного диалога (Рисунок 2.3.5). Под вводимыми размерами подразумеваются номинальные значения размеров. Геометрические характеристики вычисляются по толщинам $t = t_{nom} - t_{coat}$. Где t_{nom} – номинальная толщина, включая цинковое и другие металлические покрытия (если имеются), но без учёта органических покрытий; t_{coat} – толщина металлических покрытий.

Геометрические характеристики полного сечения вычисляются по обычным правилам механики с учётом радиусов закругления в местахгиба. Для одинарных профилей вычисляются следующие геометрические характеристики:

- Площадь сечения;
- Момент инерции относительно центральной оси $x - x$;
- Момент сопротивления сечения относительно оси $x - x$ для нижнего волокна;
- Момент сопротивления сечения относительно оси $x - x$ для верхнего волокна;
- Радиус инерции относительно оси $x - x$;
- Момент инерции относительно центральной оси $y - y$;
- Момент сопротивления сечения относительно оси $y - y$ для левого волокна;
- Момент сопротивления сечения относительно оси $y - y$ для правого волокна;
- Радиус инерции относительно оси $y - y$;
- Расстояние от стенки до центра тяжести сечения;
- Расстояние от нижнего волокна до центра тяжести сечения;
- Положение центра изгиба относительно центра тяжести по оси $x - x$;
- Положение центра изгиба относительно центра тяжести по оси $y - y$;
- Угол наклона главных центральных осей ($U - V$);
- Главный центральный момент инерции относительно оси U ;
- Радиус инерции относительно оси U ;
- Главный центральный момент инерции относительно оси V ;
- Радиус инерции относительно оси V ;
- Центробежный момент инерции;
- Момент инерции при свободном кручении;
- Секториальный момент инерции;

- Вес одного погонного метра профиля.

Для спаренных профилей вычисляются следующие геометрические характеристики:

- Площадь сечения;
- Момент инерции относительно центральной оси $x - x$;
- Момент сопротивления сечения относительно оси $x - x$;
- Радиус инерции относительно оси $x - x$;
- Момент инерции относительно центральной оси $y - y$;
- Момент сопротивления сечения относительно оси $y - y$;
- Радиус инерции относительно оси $y - y$;
- Момент инерции при свободном кручении;
- Секториальный момент инерции;
- Масса одного погонного метра профиля.

Геометрические характеристики эффективного сечения могут быть рассчитаны по Российским нормам СП 260.1325800.2016 [2], нормам Евросоюза Eurocode [6,7] или Североамериканским нормам AISI S100 [25]. Для последних норм реализованы: Швеллер, С-образное сечение и спаренные профили из них. Определение эффективного сечения выполняется при напряжениях, соответствующих пределу текучести стали. Возможны следующие варианты загрузки поперечного сечения, для которых вычисляются эффективные характеристики редуцированного сечения:

- Равномерное сжатие
- Изгиб относительно оси, перпендикулярной стенке сечения
- Изгиб относительно оси, параллельной стенке. Стенка сжата (только одинарные профили)
- Изгиб относительно оси, параллельной стенке. Отгибы сжаты (только одинарные профили).

Для Z-образного профиля вычисляются эффективные характеристики при равномерном сжатии и изгибе относительно оси, перпендикулярной стенке.

Вычисление геометрических характеристик для всех норм осуществляется с учётом радиусов закругления в местахгиба.

В расчётах по СП 260 [2] учитывается коэффициент надёжности по материалу γ_m , программно назначаемый в соответствии с п.6.3.

В расчётах по Eurocode [5,6,7] учитывается частный коэффициент γ_{M0} (п.3.1). При определении эффективного сечения швеллера по Eurocode пользователь может выбрать: вычислять эффективные ширины поясов (п.5.5 [6]) или воспользоваться смешанным методом эффективной ширины/эффективной толщины, изложенным в Приложении D [6].

При расчёте характеристик эффективного сечения по нормам AISI S100 [25] отверстия в любом случае не учитываются.

Вычисление геометрических характеристик сечения нетто предусмотрено для сечений, ослабленных отверстиями, которые могут располагаться на стенке (до 4 отверстий) и на поясах (по одному на пояс). Наличие или отсутствие отверстий на стенке и поясах, а также их количество, взаимное расположение и диаметр назначаются пользователем (п.2.2) с учётом формы поперечного сечения.

Для ввода данных для расчёта геометрических характеристик необходимо в главном меню выбрать *Сечение*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 1.23.

Сечение [СП260]

Наименование: Сечение №12

Характеристики

Полное сечение
 Эффективное сечение
 Сечение нетто

Нагружение

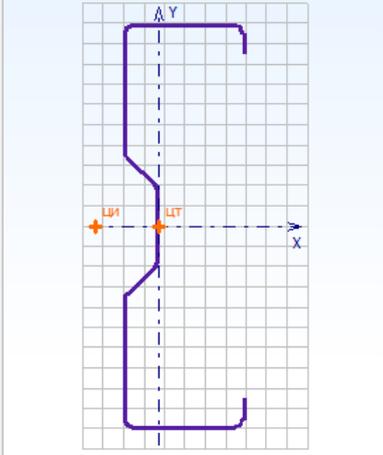
Сжатие
 Изгиб относительно горизонтальной оси
 Изгиб относительно вертикальной оси. Стенка скаты
 Изгиб относительно вертикальной оси. Пояса скаты

Отверстие

Выбрать... d: 18 мм a₁: 40 мм a₂: 120 мм

Комментарии

Сечение



Выбрать... Sgm 200-60-1,5 Delta Factory

Сталь

Группа стандартов: GOST
Стандарт: ГОСТ 14918-2020
Сталь: 350

R_{уп}: 350 Н/мм² R_{цп}: 420 Н/мм²

Вычислить | Закрыть | Справка

Рисунок 1.23 – Окно ввода данных для расчёта геометрических характеристик сечения

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки. Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 1.24). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит несколько вкладок в зависимости от того, какие расчёты были выполнены. На вкладке *Общие данные* (Рисунок 1.24,а) выводятся введённые пользователем исходные данные. На вкладках *Характеристики полного сечения*, *Характеристики эффективного сечения* (Рисунок 1.24,б) и *Характеристики сечения нетто* (Рисунок 1.24,в) отображаются соответствующие результаты расчёта.

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel[®] либо конвертировать результаты в формат HTML.

Результаты

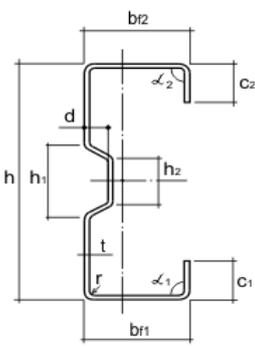
Общие данные | Характеристики полного сечения | Характеристики эффективного сечения | Характеристики сечения нетто

Сечение №12

Сжатие

Сечение

Sgm 200-60-1,5
Delta Factory



h	200,0	мм
t	1,5	мм
b _{f1}	60,0	мм
b _{f2}	60,0	мм
h ₁	68,0	мм
h ₂	40,0	мм
d	16,0	мм
c ₁	15,0	мм
c ₂	15,0	мм
a ₁	90,0	°
a ₂	90,0	°
r	3,0	мм
t _{coat}	0,04	мм

Ослабление сечения отверстиями

Стенка

Диаметр отверстия

d	18,0	мм
a ₁	40,0	мм
a ₂	120,0	мм

Сталь

Группа стандартов	GOST		
Стандарт	ГОСТ 14918-2020		
Сталь	350		
Нормативное сопротивление стали по пределу текучести	R _{yn}	350	Н/мм ²
Нормативное сопротивление стали по пределу прочности	R _{un}	420	Н/мм ²
Модуль упругости	E	206000	Н/мм ²



Excel | Закрывать | Справка

Рисунок 1.24,а – Окно вывода результатов расчёта геометрических характеристик:
Общие данные

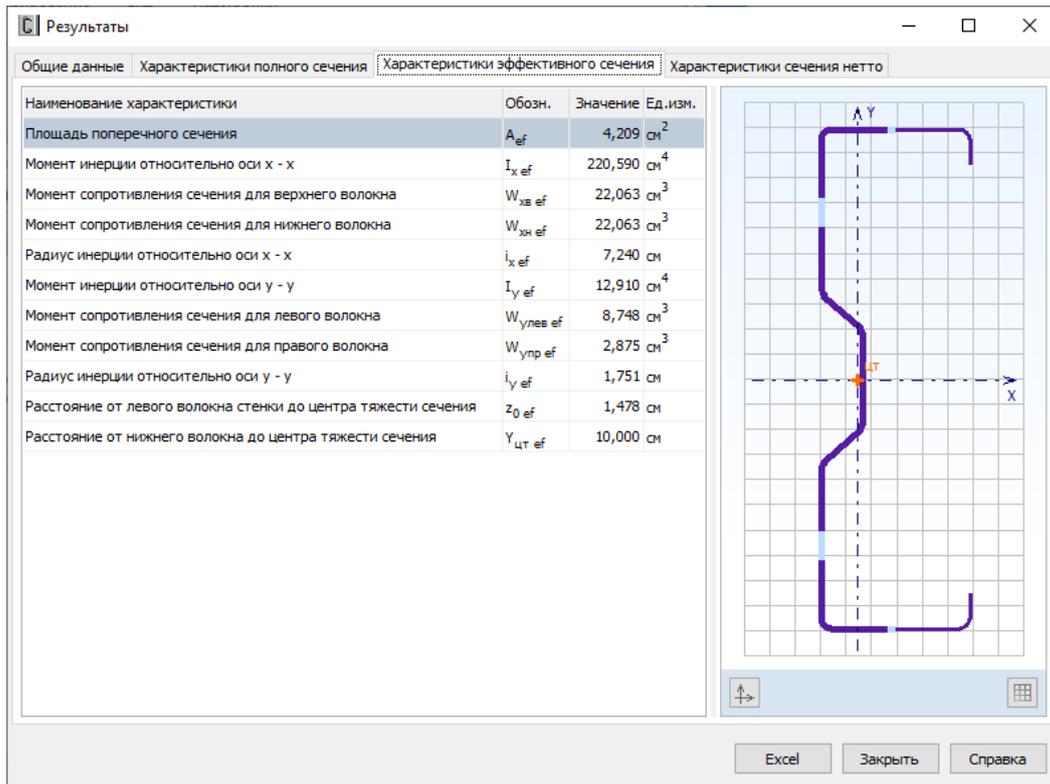


Рисунок 1.24,б – Окно вывода результатов расчёта геометрических характеристик:
Характеристики эффективного сечения

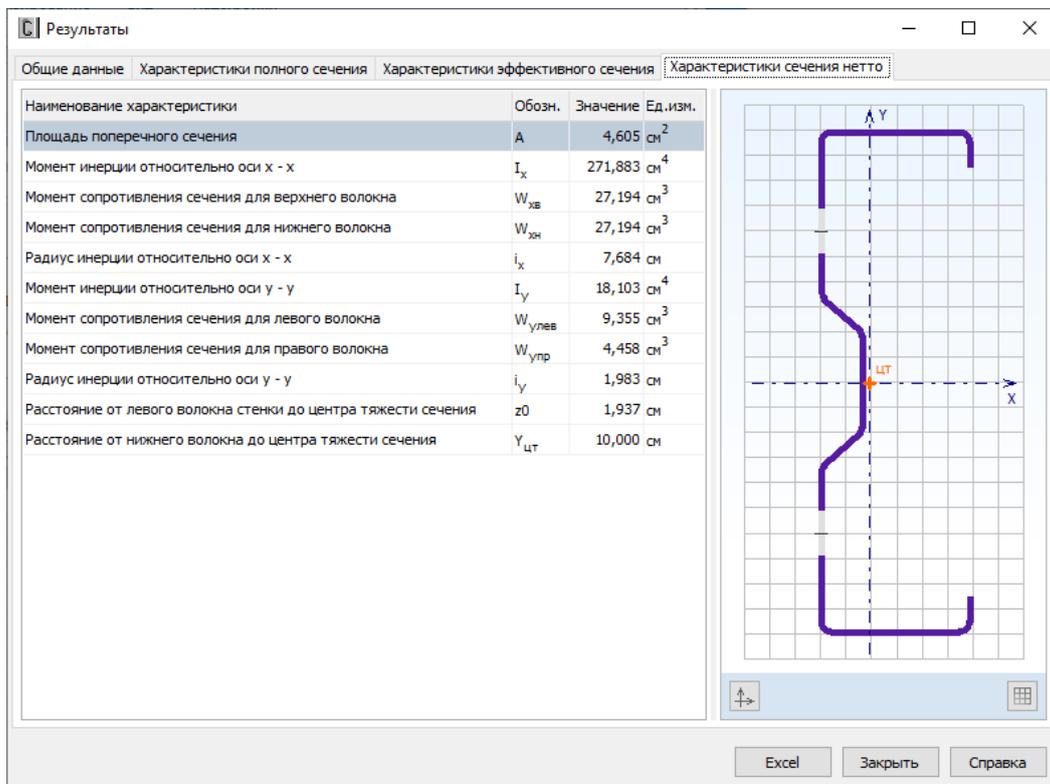


Рисунок 1.24,в – Окно вывода результатов расчёта геометрических характеристик сечения:
Характеристики сечения нетто

2. ЭЛЕМЕНТЫ

2.1. Общие замечания

Реализованы расчёты элементов на растяжение, центральное сжатие и сжатие с изгибом.

Элемент может состоять из одинарного профиля или из спаренных профилей (стенка к стенке). Рассматриваются следующие типы сечений (Рисунок 1.1): Швеллер, С-образное сечение, С-образное сечение с двойными отгибами, С-образное сечение с рифом на стенке, Сигма-образное сечение. Считается, что прикрепление стержней к смежным элементам (например, узловым фасонкам и т.д.) осуществляется с помощью нефрикционных болтовых соединений. Расчёт по несущей способности элемента выполняется как в сечениях по длине элемента в том числе, с учётом возможных ослаблений, так и в месте прикрепления. *В месте прикрепления производятся только расчёты несущей способности элемента, но не полностью расчёт соединения.*

Обязательным условием центрального сжатия является приложение сжимающей силы в центре тяжести поперечного сечения стержневого элемента. Вторым условием, при котором элемент рассчитывается как центрально сжатый и относящимся только к элементам из одинарных профилей, является ненаступление потери устойчивости составляющих сечение пластин (стенка, пояса, отгибы) - потеря местной устойчивости, и ненаступление потери устойчивости формы сечения. Если хотя бы одно из этих явлений происходит, элемент рассчитывается как сжатый с эксцентриситетом.

В рамках сжатых с изгибом элементов реализованы расчёты как сжатых с эксцентриситетом стержней, так и сжатых с изгибающим моментом стержней. В одинарных профилях эксцентриситет или изгибающий момент действует в плоскости, перпендикулярной стенке; в спаренных профилях – в плоскости симметрии, параллельной стенкам составляющих профиль сечений. Изгибающий момент может возникать от приложения поперечной нагрузки, или быть непосредственно приложен к концам стержня. Одновременное наличие эксцентриситета и изгибающего момента не предусмотрено.

Реализованы расчёты по следующим нормам: СП 260.1325800.2016 [2], Eurocode EN (EC3) [5,6,7] с соответствующими Национальными приложениями и North American Specification (AISI S100) [25]. Для растянутых элементов из швеллера также реализованы расчёты на разрушение от разрыва в ослабленном сечении в месте прикрепления по методикам, предложенным G.L. Kulak и E.Y. Wu (Кулак и Ву) [31], C.L. Pan (Пан) [33], L. H. Teh, B.P. Gilbert (Тех и Джильберт) [34].

Обозначение осей в поперечных сечениях принято в соответствии с применяемыми нормами расчёта.

Результаты выполненных расчётов отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] для дальнейшей обработки или конвертированы в формат HTML.

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части. В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть может содержать от трёх до шести вкладок в зависимости от вида расчёта (растяжение или сжатие), норм и наличия расчётов с учётом поперечного сечения нетто. На вкладке *Общие данные* выводятся введённые пользователем исходные данные для расчёта. Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. На вкладках *Характеристики эффективного сечения* и

Характеристики сечения нетто приводятся геометрические характеристики соответствующих сечений. Наличие или отсутствие данных вкладок зависит от особенностей производимого расчёта.

Окно вкладки *Результаты расчёта* функционально разделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от норм, в соответствии с которыми производится расчёт, значений исходных данных, введённых пользователем, а также настроек расчёта, определяемых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена. Единицы измерения и количество знаков после запятой также определяются пользователем (п.3.2).

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML. Пользователь может определить в пункте главного меню *Настройки* → *Программа* (п.3.3) куда по умолчанию будет направляться поток вывода. Кроме того, там же можно определить, полный объём информации или какая-то его часть будет конвертирована.

Единицы измерения характеристик в рамках одной из двух систем единиц измерения: Международной системы единиц СИ и Американской системы единиц (U.S. customary), а также количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте главного меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

С целью последующей идентификации результатов в печатном виде рекомендуется в полях окон ввода *Наименование элемента/расчёта* и/или *Комментарии* делать соответствующие записи.

2.2. Ослабление поперечного сечения отверстиями

Если по длине элемента имеются сечения с отверстиями, то пользователю предоставляется возможность ввести расположение и диаметр отверстий в таких сечениях. Для сжатых и растянутых элементов это делается по-разному.

При расчёте сжатых элементов в соответствующих окнах ввода предусмотрена кнопка *Выбрать ...*, по которой открывается диалоговое окно, показанное на Рисунке 2.2.1.

Предусмотрено наличие отверстий как в стенке, так и в поясах. В стенке может быть от одного до четырёх отверстий с произвольным (в пределах конструктивных ограничений) расположением. Для С-образного сечения с рифом на стенке и Сигма-профиля предусмотрено только чётное количество отверстий на стенке. В поясах может быть по одному отверстию с отличающимся (в общем случае) расположением. Допускается различное значение диаметров отверстий в стенке и в поясах.

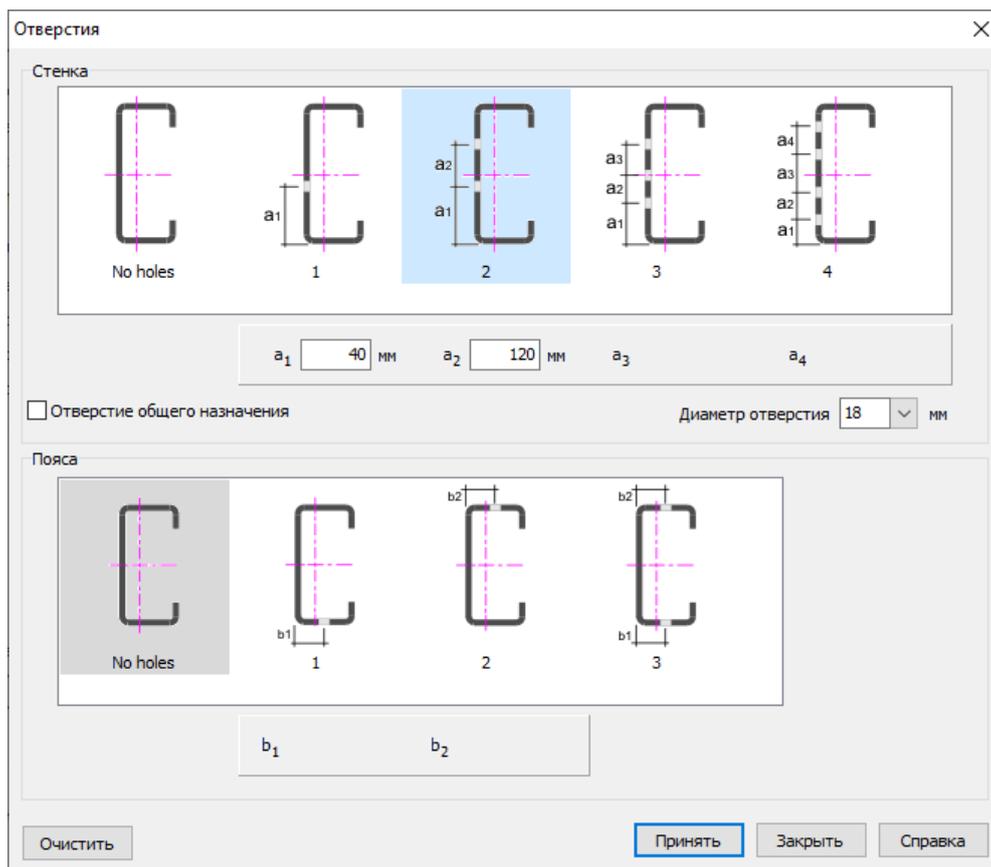


Рисунок 2.2.1 – Окно ввода размеров и расположения отверстий

Если в элементе имеется сечение с технологическим отверстием (например, для пропуска коммуникаций) то в этом случае необходимо отметить *Отверстие общего назначения* и ввести его размеры. Следует иметь в виду, что в одном расчёте элемента одновременное наличие отверстий для болтов и технологического отверстия не предусмотрено.

По кнопке *Очистить* происходит сброс введённых данных и возврат к сечению без отверстий.

В растянутых элементах в местах прикрепления болтами важным является не только расположение отверстий в поперечном сечении, но и размещение их вдоль усилия. Поэтому для растянутых стержней ввод ослабления в местах прикрепления производится иным образом. Более подробное описание приведено в соответствующих пунктах, посвящённых расчёту растянутых стержней.

2.3. Расчёт по СП 260.1325800

2.3.1. Растянутые элементы

2.3.1.1. Методика расчёта

Расчёт растянутых элементов из тонкостенных холодногнутых профилей выполняется на осевое растяжение. Расчёт по несущей способности элемента выполняется как в сечениях по длине элемента, так и в месте прикрепления.

Рассматриваются прикрепления элемента через стенку профиля, через пояса или через стенку и пояса одновременно (Рисунок 2.3.1).

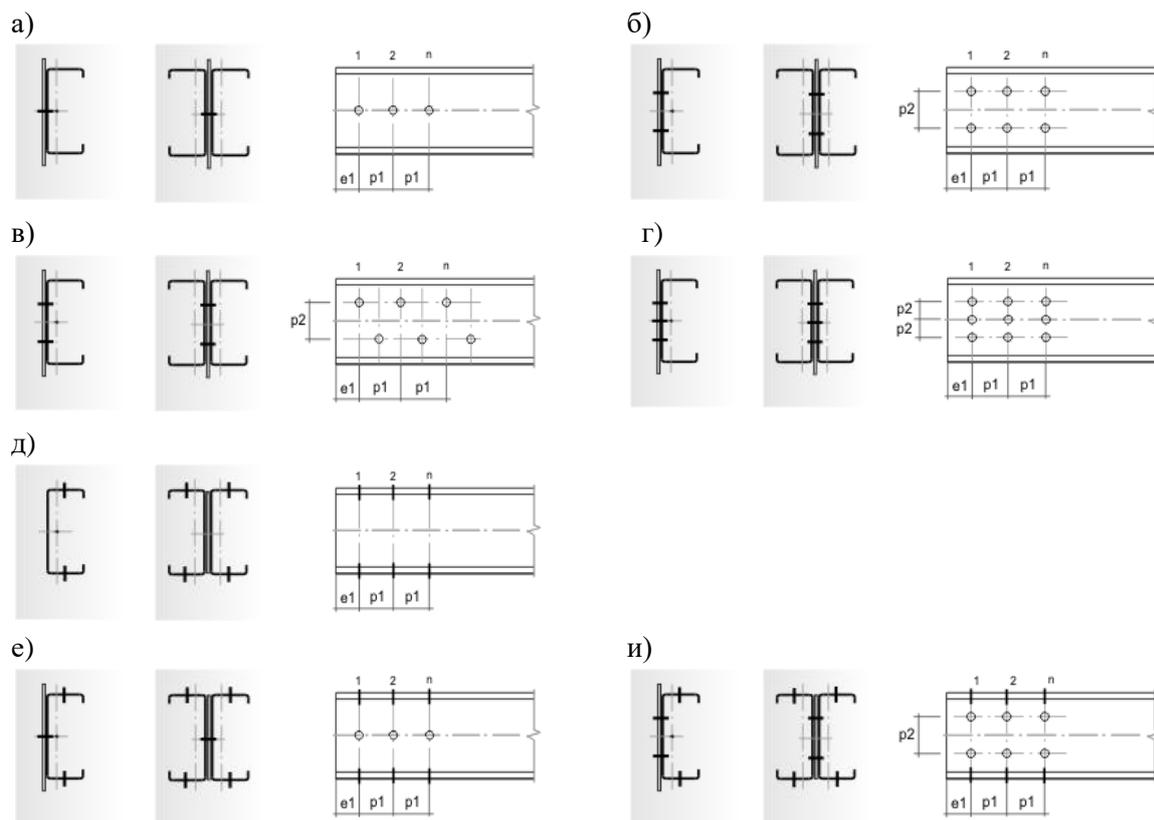


Рисунок 2.3.1 – Варианты прикреплений одиночных элементов: а,б,в,г – через стенку; д – через пояса; е,и – через стенку и пояса

Для растянутых элементов предусмотрены следующие расчёты:

- расчёт прочности с учётом возможных ослаблений сечения отверстиями для болтов по длине элемента;
- расчёт на смятие элемента в месте прикрепления;
- проверка гибкости элемента.

Подробное изложение методики расчёта растянутых элементов содержится в Руководстве пользователя, поставляемом лицензированным пользователям CFSteel, и здесь не приводится.

2.3.1.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Растяжение*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.3.2.

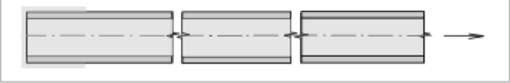
Растяжение [СП260]

Наименование элемента

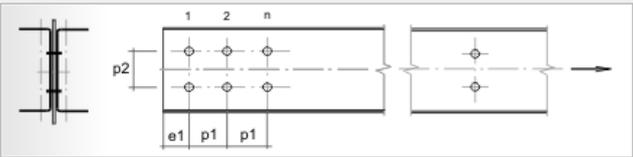
Расчётное усилие растяжения N кН

Длина элемента L м

Схема элемента



Конструкция



p_2 мм e_1 мм p_1 мм n

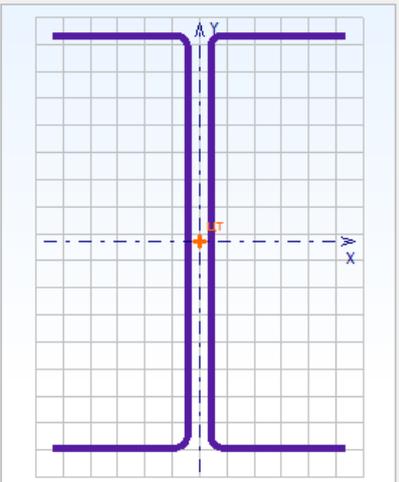
b_1 мм

Ограничение гибкости

Предельная гибкость λ_u

Комментарии

Сечение



Выбрать...

Сталь

Группа стандартов

Стандарт

Сталь

R_{yfl} Н/мм² R_{yfl} Н/мм²

Рисунок 2.3.2 – Окно ввода данных для расчёта растянутых элементов

Вводятся значения *расчётного усилия растяжения* N и *длины элемента* L . Коэффициент условий работы элемента γ_c и коэффициент условий работы элемента при расчёте на прочность в сечении, ослабленном отверстиями γ_{ct} , вводятся в *Настройках Расчёта* (п.3.1).

Далее уточняется конструктивное решение элемента. Определяется конструкция прикрепления к смежным элементам, а также назначаются возможные ослабления по длине самого элемента. Для назначения конструктивного решения прикрепления необходимо щёлкнуть левой кнопкой мыши на место прикрепления на *Схеме элемента*. После чего появляется окно выбора типа прикрепления (Рисунок 2.3.3), на котором выбирается необходимый вариант. Диаметр отверстия в месте прикрепления определяется в *Настройках Расчёта* (п.3.1).

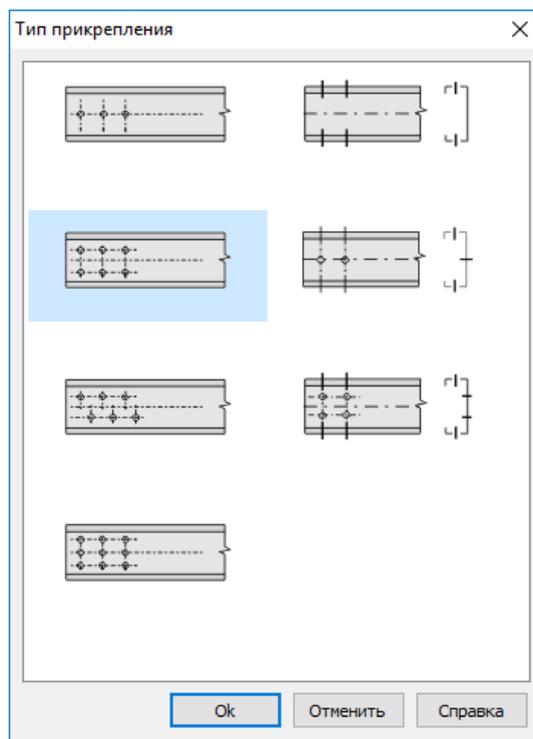


Рисунок 2.3.3 – Тип прикрепления

Если по длине элемента имеются ослабления, то следует щёлкнуть левой кнопкой мыши на среднюю часть элемента на *Схеме элемента*. После чего появляется окно выбора типа ослабления (Рисунок 2.3.4), на котором необходимо сделать соответствующий выбор, а также назначить диаметр отверстия, если он отличается от диаметра отверстий в прикреплении. Варьируя диаметром отверстия, можно ввести эквивалентное значение другого вида ослабления, имея ввиду, что последнее должно быть симметрично относительно продольной оси элемента.

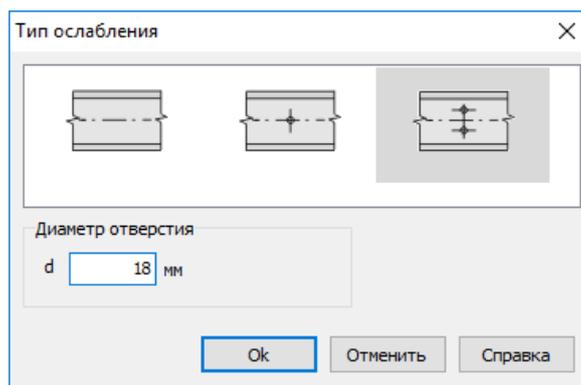


Рисунок 2.3.4 – Тип ослабления по длине элемента

Далее вводятся размеры в месте прикрепления на панели *Конструкция*.

Также необходимо назначить поперечное сечение элемента. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается окно выбора сечения (Рисунок 2.3.5).

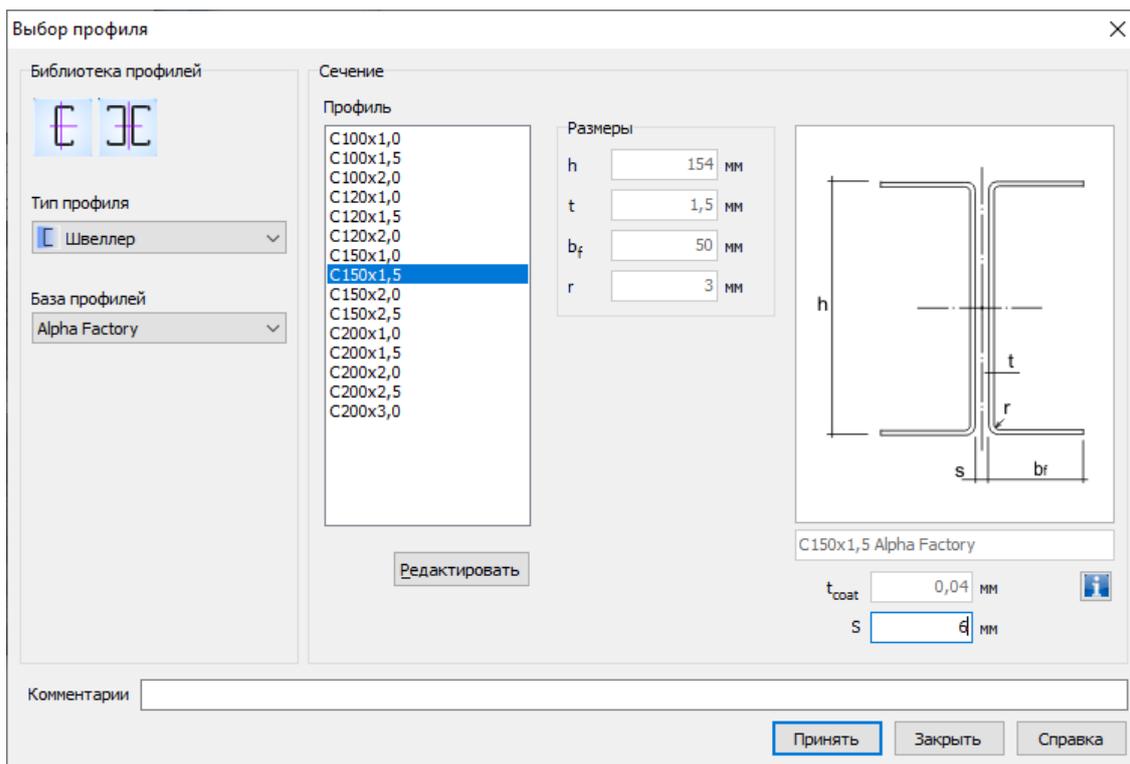


Рисунок 2.3.5 – Окно выбора сечения

Пользователь выбирает *Тип профиля*, *Базу профилей* (сортамент) и само сечение. Также следует выбрать: из одинарного или двойного профиля состоит поперечное сечение элемента.

При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранного выделяется сечение – фаворит. Пользователь сам назначает сечение – фаворит (п.3.1), которое всегда будет выделено при первом за сеанс работы с программой входе в окно выбора профиля. При повторном входе в окно выбора сечения загружается последнее выбранное (текущее) сечение.

Кроме выбора из библиотеки сечений пользователю предоставляется возможность ввести произвольные размеры выбранного типа сечения. Это можно сделать с помощью кнопки *Редактировать*. Вводимые размеры должны находиться в пределах допускаемых величин, указанных в п.1.2. В данном режиме также можно отредактировать толщину цинкового покрытия t_{coat} .

По кнопке  появляется информационное окно со значениями геометрических характеристик выбранного сечения.

Сталь рассчитываемого элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.3.2). Причём обязательны для заполнения только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Пользователь назначает сталь – фаворит (см. п.3.1), которая всегда будет появляться при первом вызове окна *Растяжение*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически загружаются последние выбранные (текущие) значения, которые в свою очередь можно редактировать.

Также в окне *Растяжение* вводится значение предельной гибкости элемента. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

Кроме того, можно сделать *Комментарии* к расчёту, введя их в строку ввода внизу окна.

Необходимость расчёта прочности по п.7.7.2.4 [2] как для сечений, составленных из двух воображаемых уголков и прикрепляемых одной полкой болтами, а также расчета по Рекомендациям ЦНИИПроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова [35] отмечается пользователем в *Настройках Расчёта* (п.3.1).

2.3.1.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки (например, печати).

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.3.6). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит три вкладки. На вкладке *Общие данные* выводятся наименование расчёта, расчётное усилие, длина элемента, коэффициенты условий работы, конструктивное решение элемента с размерами в месте прикрепления, название сечения, производитель профиля (наименование сортамента или сечения), размеры поперечного сечения, диаметры болтов, отверстий, данные о стали, коэффициент надёжности по материалу, комментарии.

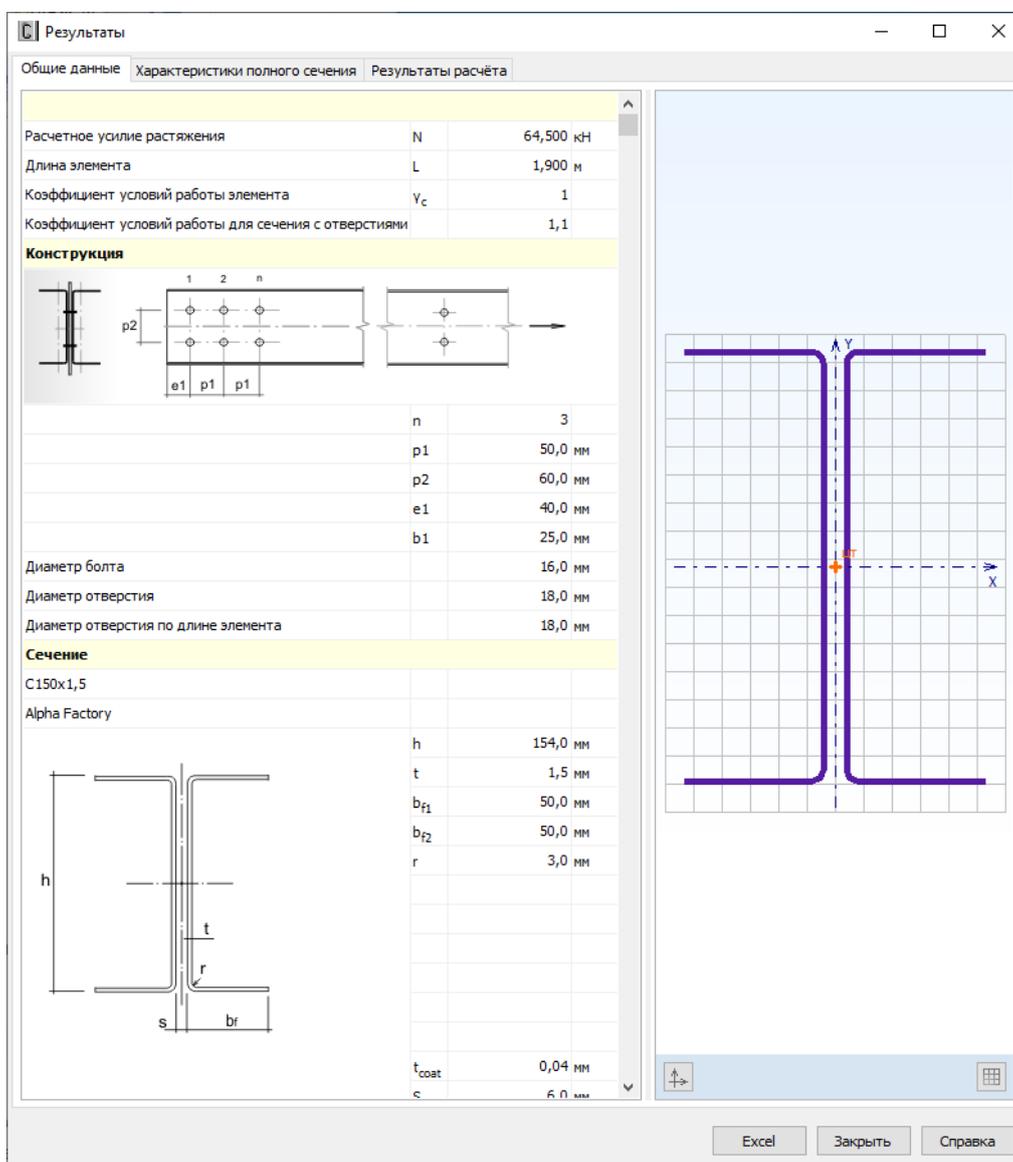


Рисунок 2.3.6 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов: *Общие данные*

Вкладка *Характеристики полного сечения* (Рисунок 2.3.7) содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. Единицы измерения характеристик в рамках одной из двух систем единиц измерения: Международной системы единиц СИ и Американской системы единиц (U.S. customary) и количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

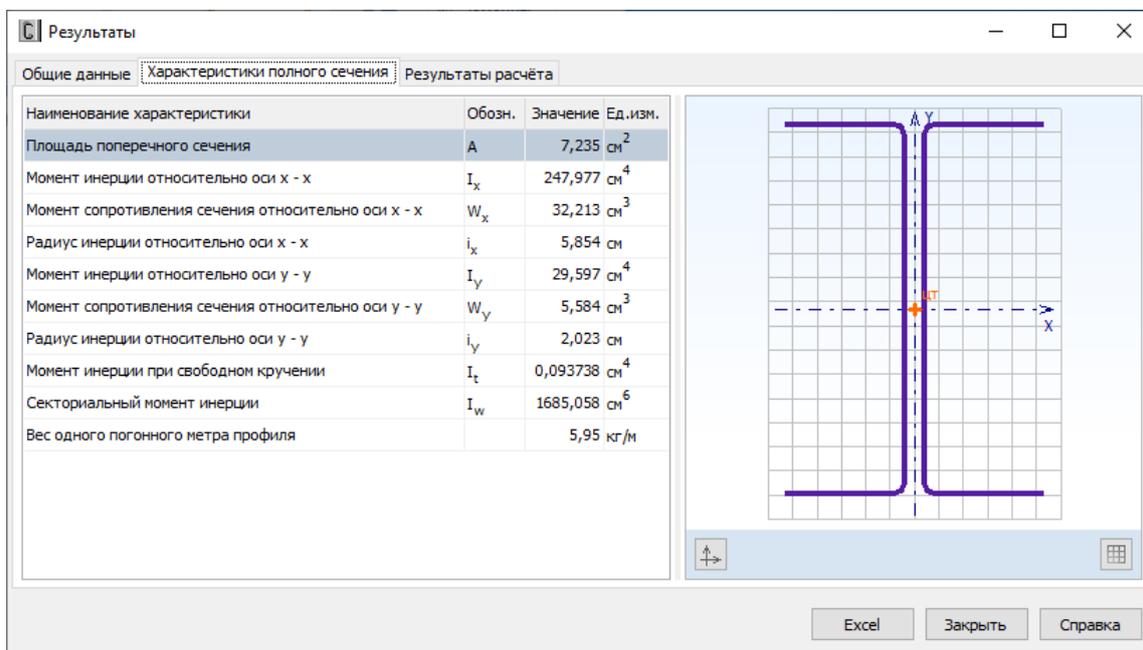


Рисунок 2.3.7 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов:
Характеристики полного сечения

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.3.8) функционально поделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от норм настроек расчёта, определяемых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

Результаты			
Общие данные Характеристики полного сечения Результаты расчёта			
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) СП 260
Проверка прочности по сечению без ослабления	$\frac{N}{A R_y \gamma_c} \leq 1$	0,366 < 1	✓ 7.7.2.1
Проверка прочности по сечению с отверстиями в пределах длины элемента	$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c \gamma_{ct}} \leq 1$	0,389 < 1	✓ 7.7.2.1
Проверка прочности по смятию в месте прикрепления элемента	$\frac{N}{R_{br} d_b t \gamma_b \gamma_c \gamma_b} \leq 1$	0,588 < 1	✓ 10.1.11
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	93,9 < 400	✓

Проверка прочности по смятию в месте прикрепления элемента				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное усилие растяжения	N	64,500	кН	
Расчётное сопротивление смятию	R _{br}	435	Н/мм ²	10.1.11
Расчётная толщина стали элемента	t	1,5	мм	
Количество болтов в соединении	n _b	6		
Коэффициент условий работы болтового соединения	γ _b	0,90		
Коэффициент условий работы элемента	γ _c	1		

Excel Закрыть Справка

Рисунок 2.3.8 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов:
Результаты расчёта

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена. Единицы измерения и количество знаков после запятой определяются пользователем (п.3.2).

Следует иметь ввиду, что проверка прочности элемента по п. 7.7.2.4 [2] производится только для следующих профилей: Швеллер, С-образный профиль, а также спаренных из этих профилей сечений и только в том случае, если её необходимость отмечена в настройках расчёта (п.3.1). Прикрепление элемента должно осуществляться болтами, расположенными по поясам.

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel[®] либо конвертировать результаты в формат HTML.

2.3.2. Центральные сжатые элементы

2.3.2.1. Методика расчёта

Как центрально сжатые элементы работают стержни из одинарных профилей с полностью эффективным сечением и стержни из спаренных профилей в любом случае, с редуцированием или без него, загруженные осевой силой. Для центрально сжатых элементов производятся следующие расчёты:

- проверка прочности;
- проверка на устойчивость по изгибной (плоской) форме потери устойчивости;
- проверка на устойчивость по изгибно-крутильной и/или крутильной форме потери устойчивости;

- проверка устойчивости элемента как внецентренно-сжатого стержня (для одинарных профилей с неполностью эффективным сечением);
- проверка устойчивости отдельной ветви элемента из спаренных профилей;
- проверка по предельной гибкости.

В соответствии с п.7.1.1 [2] расчёт по СП 260 распространяется на сечения, составленные из пластин, максимальные отношения ширины к толщине которых, не превышают значений, приведённых в Таблице 7.1 [2]. В программе производится проверка сечений на соответствие данным требованиям.

Элементы из составных сечений рассматриваются как сплошностенчатые при выполнении следующих условий (в соответствии с п.7.7.2.6 [2]):

- расстояние между метизами, объединяющими два профиля в единое сечение, не превышает $30i_{ef}$;
- обеспечивается устойчивость каждой ветви между креплениями с учётом возможных эксцентриситетов в результате несовпадения центральных осей полного и эффективного сечения.

Подробное изложение методики расчёта сжатых элементов содержится в Руководстве пользователя, поставляемом лицензированным пользователям CFSteel, и здесь не приводится.

2.3.2.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Сжатие*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.3.9.

Сжатие [СП260]

Наименование элемента: Элемент № 9-1

Длина элемента: L = 1,45 м

Расчётное усилие сжатия: N = 56,68 кН

Коэффициент приведения длины относительно оси x - x: μ_x = 1

Коэффициент приведения длины относительно оси y - y: μ_y = 0,7

Коэффициент закрепления концов элемента от кручения: k_T = 1

Коэффициент условий работы элемента (устойчивость): γ_c = 0,9

Коэффициент условий работы элемента (прочность): γ_c = 0,9

Критический момент потери устойчивости плоской формы M_{cr} : 0 кН·см

Ослабления: d = 18 мм, a₁ = 50 мм, a₂ = 100 мм

Предельная гибкость: λ_U = 180-60*alfa

Комментарии:

Сечение: C200x80x1,5 Beta Factory

Сталь: Группа стандартов: GOST, Стандарт: ГОСТ 14918-2020

Сталь: R_{yn} = 350 Н/мм², R_{un} = 420 Н/мм²

Вычислить, Закрыть, Справка

Рисунок 2.3.9 - Окно ввода данных

Вводятся наименование элемента или расчёта, геометрическая длина элемента L , расчётное усилие сжатия N , коэффициенты приведения длины относительно осей $x - x$ и $y - y$ (μ_x и μ_y). Также вводится коэффициент закрепления концов элемента от кручения k_T , с помощью которого вычисляется расчётная длина элемента при потере устойчивости по крутильной форме: $l_T = k_T \cdot L$. Рекомендации по назначению k_T приведены в п.2.3.2.1.

Кроме того, вводятся коэффициенты условий работы элемента γ_c при расчётах на устойчивость и прочность.

Если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) определено: *вводить значение критического момента потери устойчивости плоской формы изгиба M_{cr}* , пользователю необходимо ввести его значение в окно ввода. Если в *Настройках Расчёта* соответствующая метка отсутствует, то значение M_{cr} вычисляется программно по методике, изложенной в Приложении Г СП 260 [2].

Далее назначается поперечное сечение элемента. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается окно выбора сечения (Рисунок 2.3.10).

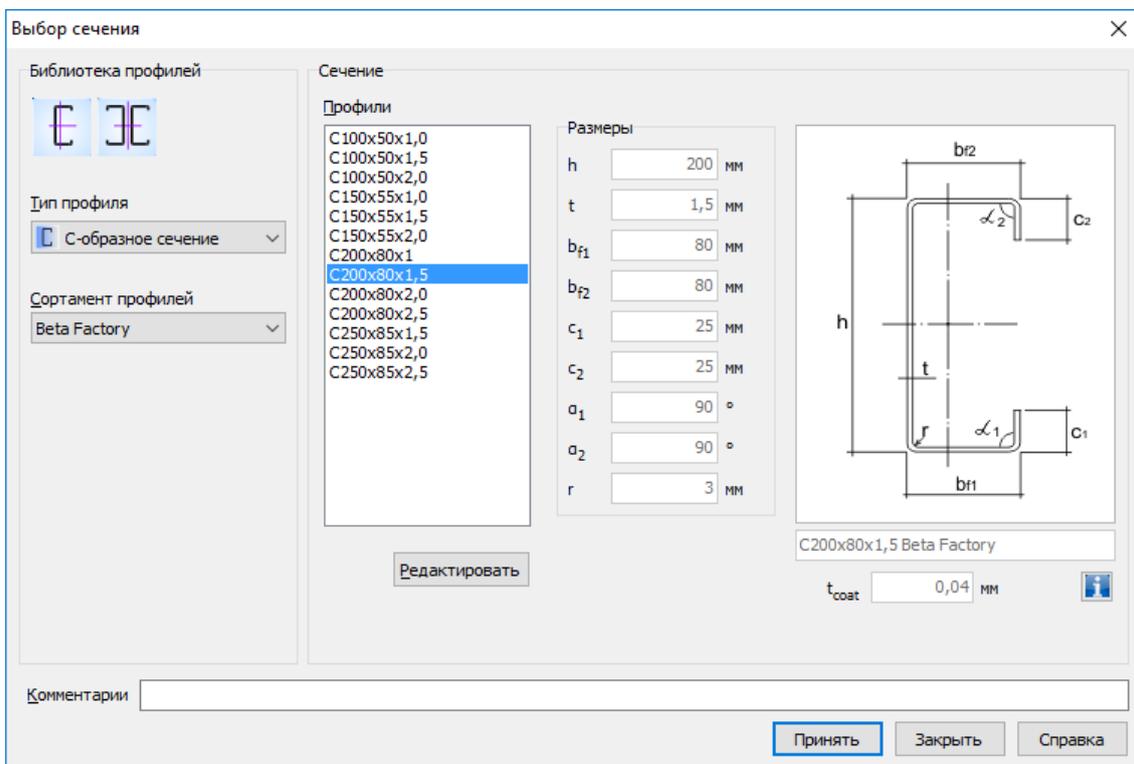


Рисунок 2.3.10 – Окно выбора сечения

Пользователь выбирает *Тип профиля*, *Базу профилей* (сортамент) и само сечение. Также необходимо выбрать: из одинарного или двойного профиля состоит поперечное сечение элемента.

При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранного выделяется сечение – фаворит. Пользователь сам назначает сечение – фаворит (п.3.1), которое всегда будет выделено при первом за сеанс работы с программой входе в окно выбора профиля. При повторном входе в окно выбора сечения загружается последнее (текущее) выбранное сечение.

Кроме выбора из библиотеки сечений пользователю предоставляется возможность ввести произвольные размеры выбранного типа сечения. Это можно сделать с помощью кнопки *Редактировать*. Вводимые размеры должны находиться в пределах допускаемых величин, указанных в п.1.2. В данном режиме также можно отредактировать толщину цинкового покрытия t_{coat} .

По кнопке  появляется информационное окно со значениями геометрических характеристик полного сечения.

Если в элементе имеются ослабления сечения отверстиями (на опорах или по длине элемента), следует ввести размеры такого ослабления выбрав кнопку *Ослабления*. После чего вводятся параметры отверстий в открывшемся стандартном диалоговом окне (п.2.2).

Сталь элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.3.9). Причём обязательны для заполнения только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Сталь – фаворит назначает пользователь в настройках расчёта (п.3.1). Она всегда будет появляться при первом вызове окна *Сжатие*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически загружаются последние выбранные (текущие) значения, которые в свою очередь можно редактировать.

Также в окне *Сжатие* вводится значение *предельной гибкости элемента*. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

2.3.2.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки.

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.3.11). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит четыре или пять вкладок в зависимости от того, рассматривается ли ослабленное отверстиями сечение. На вкладке *Общие данные* повторяются введённые пользователем параметры расчёта.

Результаты

Общие данные | Характеристики полного сечения | Характеристики эффективного сечения | Характеристики сечения нетто | Результаты расчёта

Элемент № 9-1

Расчетное усилие сжатия	N	56,680 кН
Длина элемента	L	1,450 м
Коэффициент приведения длины относительно оси x	μ_x	1
Коэффициент приведения длины относительно оси y	μ_y	0,7
Коэффициент приведения длины (кручение)	k_T	1
Коэффициент условий работы элемента (устойчивость)	γ_c	0,9
Коэффициент условий работы элемента (прочность)	γ_c	0,9
Предельная гибкость	λ_u	137,2

Сечение

C200x80x1,5
Beta Factory

h	200,0 мм
t	1,5 мм
b _{f1}	80,0 мм
b _{f2}	80,0 мм
c ₁	25,0 мм
c ₂	25,0 мм
a ₁	90,0 °
a ₂	90,0 °
r	3,0 мм
t _{coat}	0,04 мм

Ослабление сечения отверстиями

Стенка		
Диаметр отверстия	d	18,0 мм
	a ₁	50,0 мм
	a ₂	100,0 мм

Сталь

Группа стандартов		GOST
Стандарт		ГОСТ 14918-2020
Сталь		350
Нормативное сопротивление стали по пределу текучи	R _{yn}	350 Н/мм ²
Нормативное сопротивление стали по пределу прочности	R _{un}	420 Н/мм ²
Модуль упругости	E	206000 Н/мм ²
Коэффициент Пуассона	ν	0,3
Коэффициент надёжности по материалу	γ_m	1,05

Excel | Закрывать | Справка

Рисунок 2.3.11 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов: *Общие данные*

Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. Вид окна аналогичен показанному на Рисунке 2.3.12. На вкладках *Характеристики эффективного сечения* (Рисунок 2.3.13) и *Характеристики сечения нетто* (Рисунок 2.3.14) приводятся геометрические характеристики соответствующих сечений.

Единицы измерения характеристик в рамках Международной системы единиц СИ или Американской системы единиц (U.S. customary), а также количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте главного меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

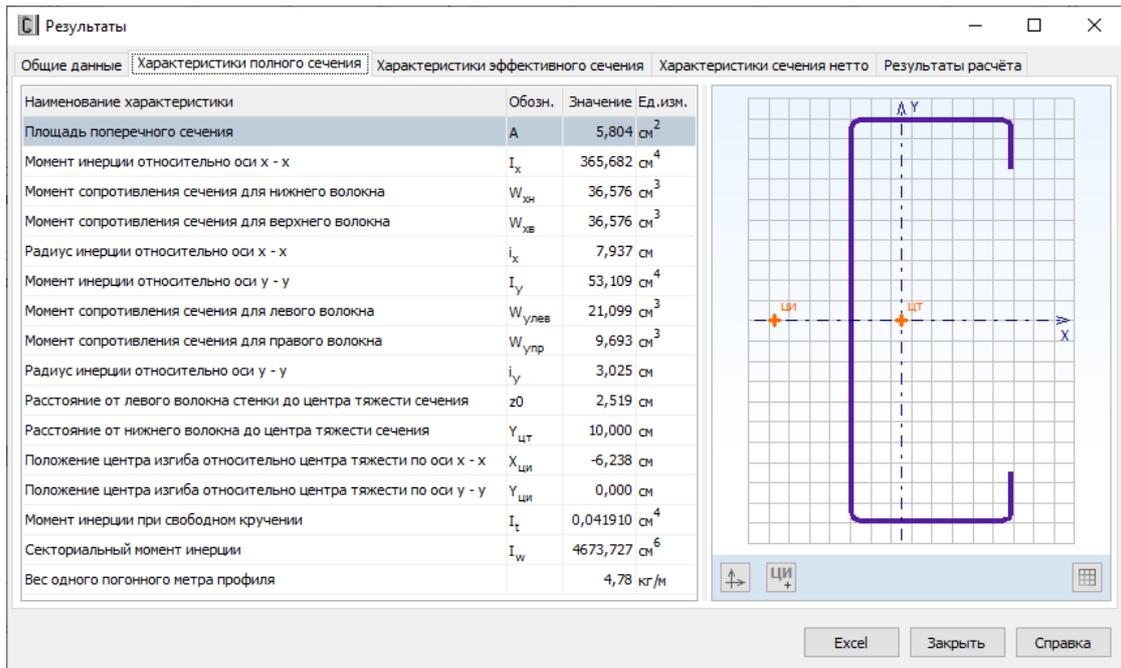


Рисунок 2.3.12 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики полного сечения

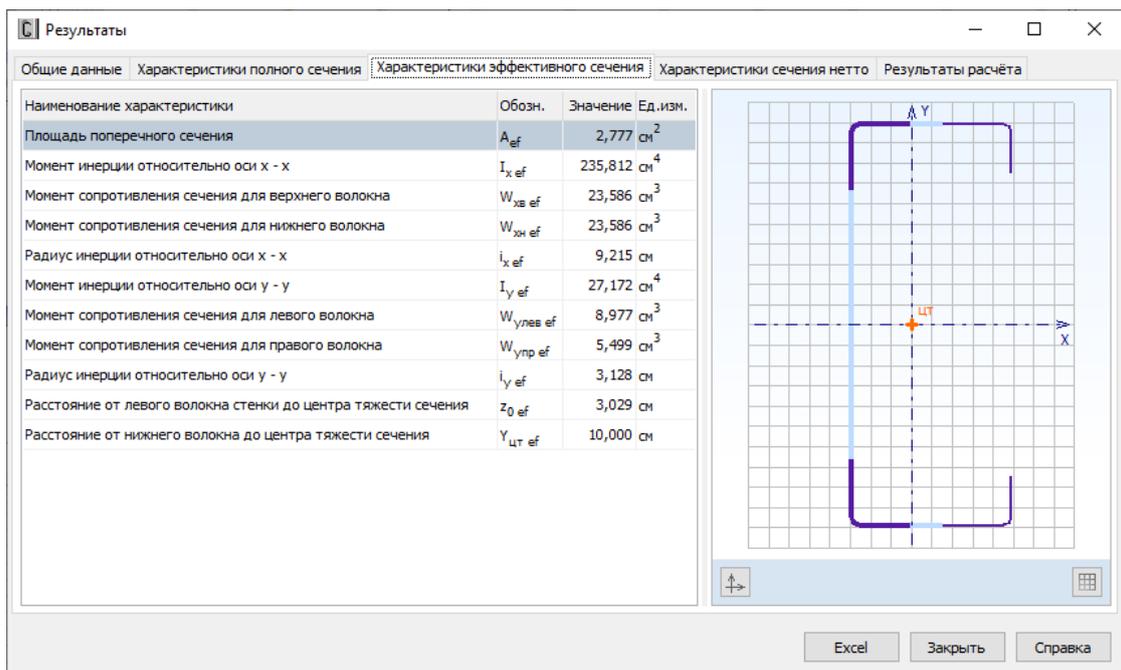


Рисунок 2.3.13 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики эффективного сечения

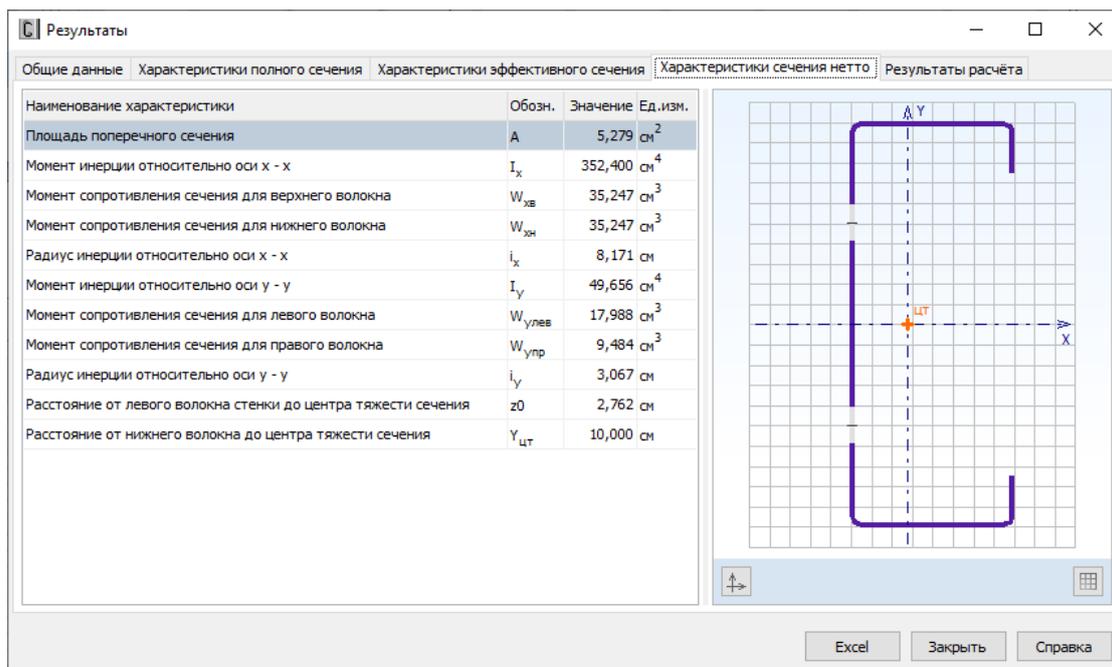


Рисунок 2.3.14 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики сечения нетто

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.3.15) функционально разделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от значений исходных данных, введённых пользователем, а также настроек расчёта, определяемых в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

Результаты				
Общие данные	Характеристики полного сечения	Характеристики эффективного сечения	Характеристики сечения нетто	Результаты расчёта
Проверка		Расчётное неравенство	Значение	Пункт (фор)
Расчёт на прочность при сжатии с изгибом		$\frac{N}{A_{ef}R_y\gamma_c} + \frac{Ne_N}{W_{yef}R_y\gamma_c} \leq 1$	0,788 < 1	✓ 7.7.4
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)		$\frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y \gamma_c} + k_{zy} \frac{e_N N}{\chi_{LT} W_{yef} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,828 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)		$\frac{N}{\varphi_x A_{ef} R_y \gamma_c} + k_{zy} \frac{e_N N}{\chi_{LT} W_{yef} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,799 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле (7.101)		$\left(\frac{N_1}{\varphi A_{ef} R_y \gamma_c}\right)^{0,8} + \left(\frac{e_1 N_1}{\chi_{LT} W_{yef} R_y \gamma_c}\right)^{0,8} \leq 1$	0,974 < 1	✓ 7.7.10.4
Проверка гибкости элемента		$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	33,6 < 137,2	✓ 10.4
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	56,680	кН	
Эксцентриситет	e _N	0,510	см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A _{ef}	2,777	см ²	
Расчётный момент сопротивления сечения	W _{yef}	8,977	см ³	
Геометрическая длина элемента	L	1,450	м	
Расчётная длина относительно оси x - x	l _{efx}	1,450	м	
Расчётная длина относительно оси y - y	l _{efy}	1,015	м	
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L _{crT}	1,450	м	
Приведённая гибкость относительно оси x - x	$\bar{\lambda}_x$	0,508		7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,934		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x		b		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y		b		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ _x	0,994		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ _y	0,954		7.7.8.1
Критическая сила для крутильной формы потери устойчивости	N _{crT}	409,925	кН	7.7.8.4
Критическая сила для изгибно-крутильной формы потери устойчивости	N _{crTF}	392,734	кН	7.7.8.5
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии	M _{cr}	27436,533	кН·см	Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,104		7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b		7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ _{LT}	1,000		7.7.9.2
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1		
Коэффициент взаимодействия	k	1,068		
Расчётное сопротивление стали	R _y	333	Н/мм ²	
Коэффициент условий работы	γ _c	0,9		

Рисунок 2.3.15,а – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Результаты расчёта

Результаты				
Общие данные	Характеристики полного сечения	Характеристики эффективного сечения	Характеристики сечения нетто	Результаты расчёта
Проверка		Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула)
Расчёт на прочность при сжатии с изгибом		$\frac{N}{A_{эф}R_y\gamma_c} + \frac{Ne_N}{W_{y,эф}R_y\gamma_c} \leq 1$	0,788 < 1	✓ 7.7.4
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)		$\frac{N}{\phi_y A_{эф}R_y\gamma_c} + k_{yy} \frac{e_N N}{\chi_{Ly} W_{y,эф}R_y\gamma_c} \leq 1$	0,828 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)		$\frac{N}{\phi_x A_{эф}R_y\gamma_c} + k_{xy} \frac{e_N N}{\chi_{Lx} W_{y,эф}R_y\gamma_c} \leq 1$	0,799 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле (7.101)		$\left(\frac{N_i}{\phi A_{эф}R_y\gamma_c}\right)^{1,5} + \left(\frac{e_i N_i}{\chi_{Li} W_{y,эф}R_y\gamma_c}\right)^{1,5} \leq 1$	0,974 < 1	✓ 7.7.10.4
Проверка гибкости элемента		$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	33,6 < 137,2	✓ 10.4
< >				
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле (7.101)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное усилие сжатия	N	56,680	кН	
Эксцентриситет	e _N	0,510	см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A _{эф}	2,777	см ²	
Расчётный момент сопротивления сечения	W _{y,эф}	8,977	см ³	
Понижающий коэффициент	φ	0,890		
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ _{min}	1,000		7.7.9.2
Расчётное сопротивление стали по пределу текучести	R _y	333	Н/мм ²	
Коэффициент условий работы элемента	γ _c	0,9		
Excel Закрыть Справка				

Рисунок 2.3.15,б – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Результаты расчёта

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена. Единицы измерения и количество знаков после запятой определяются пользователем (п.3.2).

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML.

На Рисунках 2.3.16 – 2.3.20 приведено представление данных о выполненном расчёте в Microsoft Excel®.

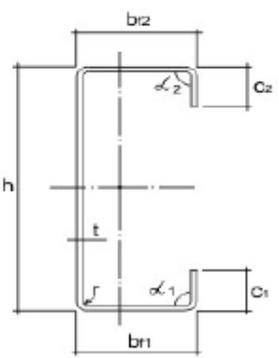
 Delta Engineering Software http://www.CFSteel.ru mailto:deltaing@mail.ru	CFSteel 4.3		страница 1
	User		
	CP260	21.04.2022	
Элемент № 9-1			
Расчетное усилие сжатия	N	56,680 кН	
Длина элемента	L	1,450 м	
Коэффициент приведения длины относительно оси x - x	μ_x	1	
Коэффициент приведения длины относительно оси y - y	μ_y	0,7	
Коэффициент приведения длины (кручение)	k_T	1	
Коэффициент условий работы элемента (устойчивость)	γ_c	0,9	
Коэффициент условий работы элемента (прочность)	γ_c	0,9	
Предельная гибкость	λ_{cl}	137,2	
Сечение			
C200x80x1,5			
Beta Factory			
	h	200,0 мм	
	t	1,5 мм	
	b_{r1}	80,0 мм	
	b_{r2}	80,0 мм	
	c_1	25,0 мм	
	c_2	25,0 мм	
	α_1	90,0 °	
	α_2	90,0 °	
	r	3,0 мм	
	t_{coat}	0,04 мм	
Ослабление сечения отверстиями			
	Стенка		
Диаметр отверстия	d	18,0 мм	
	a_1	50,0 мм	
	a_2	100,0 мм	
Сталь			
Группа стандартов	GOST		
Стандарт	ГОСТ 14918-2020		
Сталь	350		
Нормативное сопротивление стали по пределу текучести	R_{Ym}	350 Н/мм ²	
Нормативное сопротивление стали по пределу прочности	R_{Um}	420 Н/мм ²	
Модуль упругости	E	206000 Н/мм ²	
Коэффициент Пуассона	ν	0,3	
Коэффициент надёжности по материалу	γ_m	1,05	

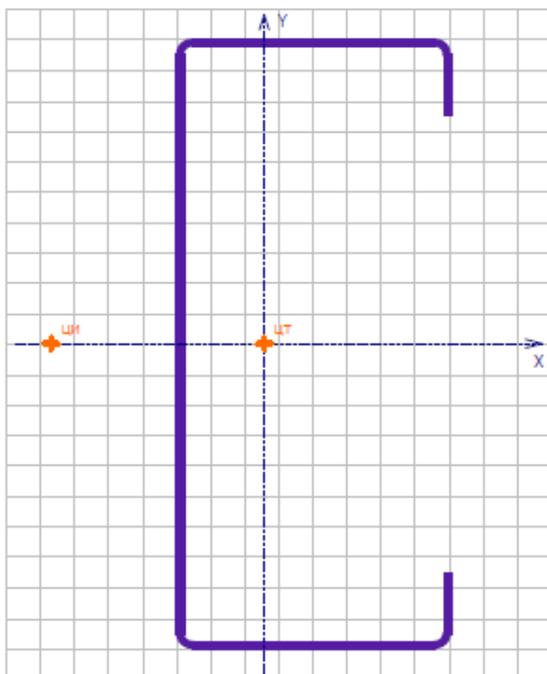
Рисунок 2.3.16 – Вывод результатов расчёта сжатых элементов в Excel:
Общие данные



Элемент № 9-1

S200x80x1,5 Beta Factory

Характеристики полного сечения



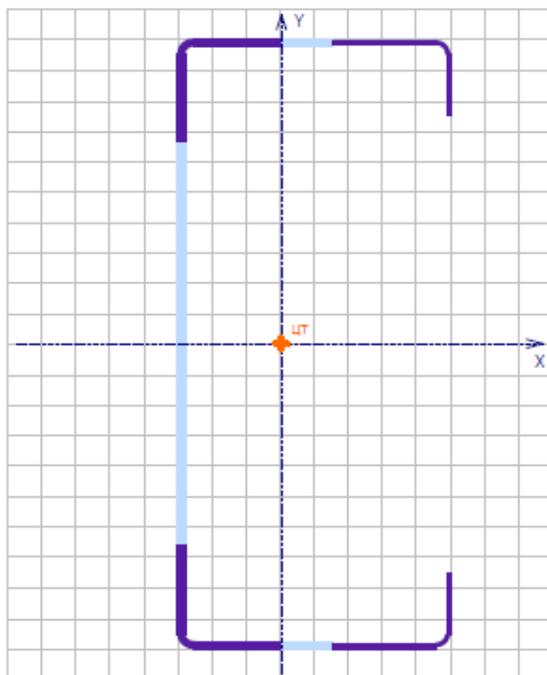
Наименование характеристики	Обозн.	Значение	Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A	5,804	см ²
Момент инерции относительно оси x - x	I _x	365,682	см ⁴
Момент сопротивления сечения для нижнего волокна	W _{хн}	36,576	см ³
Момент сопротивления сечения для верхнего волокна	W _{хв}	36,576	см ³
Радиус инерции относительно оси x - x	i _x	7,937	см
Момент инерции относительно оси y - y	I _y	53,109	см ⁴
Момент сопротивления сечения для левого волокна	W _{улев}	21,099	см ³
Момент сопротивления сечения для правого волокна	W _{упр}	9,693	см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	i _y	3,025	см
Расстояние от левого волокна стенки до центра тяжести сечения	z ₀	2,519	см
Расстояние от нижнего волокна до центра тяжести сечения	Y _{цт}	10,000	см
Положение центра изгиба относительно центра тяжести по оси x - x	X _{цк}	-6,238	см
Положение центра изгиба относительно центра тяжести по оси y - y	Y _{цк}	0,000	см
Момент инерции при свободном кручении	I _t	0,041910	см ⁴
Секториальный момент инерции	I _w	4673,727	см ⁶
Вес одного погонного метра профиля		4,78	кг/м

Рисунок 2.3.17 – Вывод результатов расчёта сжатых элементов в Excel:
 Геометрические характеристики полного сечения

Элемент № 9-1

C200x80x1,5 Beta Factory

Характеристики эффективного сечения



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A_{ef}	2,777 см ²
Момент инерции относительно оси x - x	$I_{x\ ef}$	235,812 см ⁴
Момент сопротивления сечения для верхнего волокна	$W_{x\ на\ ef}$	23,586 см ³
Момент сопротивления сечения для нижнего волокна	$W_{x\ н\ ef}$	23,586 см ³
Радиус инерции относительно оси x - x	$i_{x\ ef}$	9,215 см
Момент инерции относительно оси y - y	$I_{y\ ef}$	27,172 см ⁴
Момент сопротивления сечения для левого волокна	$W_{y\ на\ ef}$	8,977 см ³
Момент сопротивления сечения для правого волокна	$W_{y\ н\ ef}$	5,499 см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	$i_{y\ ef}$	3,128 см
Расстояние от левого волокна стенки до центра тяжести сечения	$Z_{0\ ef}$	3,029 см
Расстояние от нижнего волокна до центра тяжести сечения	$Y_{цт\ ef}$	10,000 см

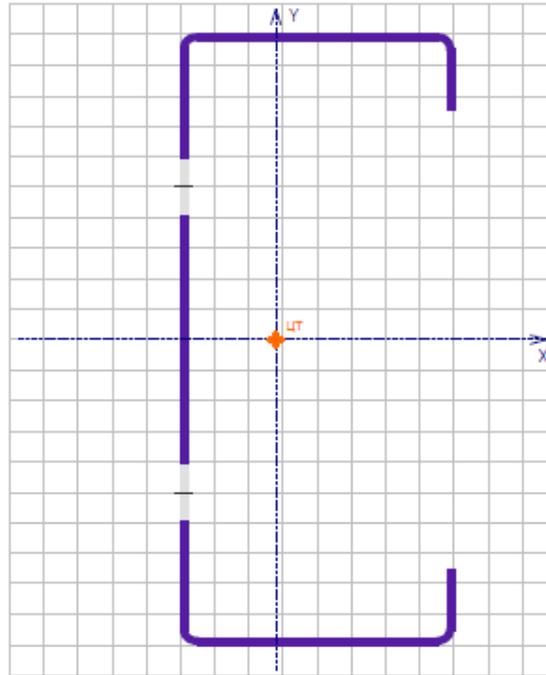
Рисунок 2.3.18 – Вывод результатов расчёта сжатых элементов в Excel:
 Геометрические характеристики эффективного сечения



Элемент № 9-1

C200x80x1,5 Beta Factory

Характеристики сечения нетто



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A	5,279 см ²
Момент инерции относительно оси x - x	I _x	352,400 см ⁴
Момент сопротивления сечения для верхнего волокна	W _{хв}	35,247 см ³
Момент сопротивления сечения для нижнего волокна	W _{хн}	35,247 см ³
Радиус инерции относительно оси x - x	i _x	8,171 см
Момент инерции относительно оси y - y	I _y	49,656 см ⁴
Момент сопротивления сечения для левого волокна	W _{yles}	17,988 см ³
Момент сопротивления сечения для правого волокна	W _{yпр}	9,484 см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	i _y	3,067 см
Расстояние от левого волокна стенки до центра тяжести сечения	z0	2,762 см
Расстояние от нижнего волокна до центра тяжести сечения	Y _{цт}	10,000 см

Рисунок 2.3.19 – Вывод результатов расчёта сжатых элементов в Excel:
Геометрические характеристики сечения нетто

Элемент № 9-1

Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) СП 260
Расчёт на прочность при сжатии с изгибом	$\frac{N}{A_{эф} R_y \gamma_c} + \frac{N e_N}{W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,788 < 1	✓ 7.7.4
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)	$\frac{N}{\varphi_y A_{эф} R_y \gamma_c} + k_{xy} \frac{e_N N}{\chi_{из} W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,828 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)	$\frac{N}{\varphi_x A_{эф} R_y \gamma_c} + k_{xy} \frac{e_N N}{\chi_{из} W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,799 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле (7.101)	$\left(\frac{N}{\varphi_y A_{эф} R_y \gamma_c} \right)^{\delta,k} + \left(\frac{e_N N}{\chi_{из} W_{эф} R_y \gamma_c} \right)^{\delta,k} \leq 1$	0,974 < 1	✓ 7.7.10.4
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_U$	33,6 < 137,2	✓ 10.4

Расчёт на прочность при сжатии с изгибом

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное усилие сжатия	N	56,680	кН	
Эксцентриситет	e _N	0,510	см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A _{эф}	2,777	см ²	
Расчётный момент сопротивления сечения	W _{эф}	8,977	см ³	7.7.4
Расчётное сопротивление стали по пределу текучести	R _y	333	Н/мм ²	
Коэффициент условий работы элемента	γ _c	0,9		

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	56,680	кН	
Эксцентриситет	e _N	0,510	см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A _{эф}	2,777	см ²	
Расчётный момент сопротивления сечения	W _{эф}	8,977	см ³	
Геометрическая длина элемента	L	1,450	м	
Расчётная длина относительно оси x - x	l _{efx}	1,450	м	

Рисунок 2.3.20,а – Вывод результатов в Excel. Результаты расчёта (начало)

Элементы

Расчётная длина относительно оси у - у	l_{ey}	1,015 м	
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L_{crT}	1,450 м	
Приведённая гибкость относительно оси х - х	λ_x	0,508	7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси у - у	λ_y	0,934	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси х - х		b	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси у - у		b	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_x	0,994	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_y	0,954	7.7.8.1
Критическая сила для крутильной формы потери устойчивости	N_{crT}	409,925 кН	7.7.8.4
Критическая сила для изгибно-крутильной формы потери устойчивости	N_{crTF}	392,734 кН	7.7.8.5
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии	M_{cr}	27436,533 кН·см	Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	λ_{LT}	0,104	7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b	7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	1,000	7.7.9.2
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1	
Коэффициент взаимодействия	k	1,068	
Расчётное сопротивление стали	R_y	333 Н/мм ²	
Коэффициент условий работы	γ_c	0,9	
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)			
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм. Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	56,680 кН	
Эксцентриситет	e_N	0,510 см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A_{ef}	2,777 см ²	
Расчётный момент сопротивления сечения	W_{yer}	8,977 см ³	
Геометрическая длина элемента	L	1,450 м	

Рисунок 2.3.20,6 – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (продолжение)*

Элементы

Расчётная длина относительно оси x - x	l_{ex}	1,450 м	
Расчётная длина относительно оси y - y	l_{ey}	1,015 м	
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L_{crT}	1,450 м	
Приведённая гибкость относительно оси x - x	$\bar{\lambda}_x$	0,508	7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,934	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x		b	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y		b	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_x	0,994	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_y	0,954	7.7.8.1
Критическая сила для крутильной формы потери устойчивости	N_{crT}	409,925 кН	7.7.8.4
Критическая сила для изгибно-крутильной формы потери устойчивости	N_{crTF}	392,734 кН	7.7.8.5
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии	M_{cr}	27436,533 кН·см	Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{crT}$	0,104	7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b	7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{crT}	1,000	7.7.9.2
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1	
Коэффициент взаимодействия	k	1,071	
Расчётное сопротивление стали	R_s	333 Н/мм ²	
Коэффициент условий работы	γ_c	0,9	
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле (7.101)			
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм. Пункт (формула) СП 260
Расчётное усилие сжатия	N	56,680 кН	
Эксцентриситет	e_N	0,510 см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A_{ef}	2,777 см ²	

Рисунок 2.3.20,в – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (продолжение)*

Расчётный момент сопротивления сечения	W_{yef}	8,977 см ³	
Понижающий коэффициент	φ	0,890	
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{min}	1,000	7.7.9.2
Расчётное сопротивление стали по пределу текучести	R_y	333 Н/мм ²	
Коэффициент условий работы элемента	γ_c	0,9	

Проверка гибкости элемента			
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.
Максимальная гибкость элемента	λ_{max}	33,6	
Предельная гибкость	λ_c	137,2	

Рисунок 2.3.20,г – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (окончание)*

2.3.3. Сжатые с изгибом элементы

2.3.3.1. Методика расчёта

Для сжатых с изгибом элементов выполняются следующие расчёты:

- проверка прочности;
- проверка устойчивости.

В соответствии с п.7.1.1 [2] расчёт по СП 260 распространяется на сечения, составленные из пластин, максимальные отношения ширины к толщине которых, не превышают значений, приведённых в Таблице 7.1 [2]. В программе производится проверка сечений на соответствие данным требованиям.

Считается, что в одинарных профилях изгиб осуществляется в плоскости, перпендикулярной стенке; в спаренных профилях – в плоскости, параллельной стенкам профиля.

Подробное изложение методики расчёта сжатых с изгибом элементов содержится в Руководстве пользователя, поставляемом лицензированным пользователям CFSteel. Здесь приводятся лишь фрагменты.

Таблица 2.3.1 – Коэффициенты C_1 и C_3 для балок с моментами на опорах

Концевые моменты и граничные условия	Вид эпюры изгибающих моментов	Значение k	Значение коэффициентов			
			C_1	C_3		
				$\psi_f \leq 0$	$\psi_f > 0$	
	$\psi = 1$ 	1,0	1,00	1,000		
		0,5	1,05	1,019		
	$\psi = 3/4$ 	1,0	1,14	1,000		
		0,5	1,19	1,017		
	$\psi = 1/2$ 	1,0	1,31	1,000		
		0,5	1,37	1,000		
	$\psi = 1/4$ 	1,0	1,52	1,000		
		0,5	1,60	1,000		
			1,0	1,77	1,000	

Элементы

	0,5	1,86	1,000	
	1,0	2,06	1,000	0,850
	0,5	2,15	1,000	0,650
	1,0	2,35	1,000	1,3-1,2 ψ_f
	0,5	2,42	0,950	0,77- ψ_f
	1,0	2,60	1,000	0,55- ψ_f
	0,5	2,45	0,850	0,35- ψ_f
	1,0	2,60	- ψ_f	- ψ_f
	0,5	2,45	0,125-0,7 ψ_f	-0,125-0,7 ψ_f
	Для балок с моментами на опорах $C_2x_g = 0$;			

Таблица 2.3.2 – Коэффициенты C_1 , C_2 и C_3 для балок с поперечной нагрузкой

Загружение и граничные условия	Вид эпюры изгибающих моментов	Значение k	Значение коэффициентов		
			C_1	C_2	C_3
		1,0	1,127	0,454	0,525
		0,5	0,970	0,360	0,478
		1,0	1,348	0,630	0,411
		0,5	1,050	0,480	0,338
		1,0	1,040	0,420	0,562
		0,5	0,950	0,310	0,539

Если к элементу приложена поперечная нагрузка, то для определения критического момента M_{cr} важным является уровень приложения нагрузки по отношению к центру изгиба поперечного сечения. Влияние данного фактора учитывается произведением $C_2 \cdot x_g$ для одинарных профилей и $C_2 \cdot y_g$ для двойных профилей. Где $x_g(y_g)$ - координата точки приложения поперечной нагрузки относительно центра изгиба. Если поперечная нагрузка действует по направлению к центру изгиба, то она оказывает дестабилизирующее воздействие; если нагрузка действует от центра изгиба, то, наоборот, стабилизирующее. Если нагрузка приложена в центре изгиба, то её воздействие с рассматриваемой точки зрения нейтрально. Учитываемые варианты приложения поперечной нагрузки приведены на Рисунке 2.3.21. Помимо указанных, для одинарных профилей предусмотрен также вариант приложения нагрузки в центре изгиба.



Рисунок 2.3.21 – Варианты приложения поперечной нагрузки

Коэффициенты взаимодействия k_{yy} , k_{xy} , k_{xx} , k_{yx} , учитывающие совместное действие усилий при расчётах по п.7.7.10.3 СП 260 [2], определяются или по *Методу 1* (Приложение В [2] Таблицы В.1 и В.2), или по *Методу 2* (Приложение В [2] Таблицы В.4 и В.5). Пользователь может назначить *Метод* расчёта коэффициентов взаимодействия в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* → *СП260* (п.3.1).

Метод 1

Для одинарных профилей:

$$k_{yy} = C_{m,y} C_{m,LT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}},$$

$$k_{xy} = C_{m,y} C_{m,LT} \frac{\mu_x}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}},$$

Для спаренных профилей:

$$k_{xx} = C_{m,x} C_{m,LT} \frac{\mu_x}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}},$$

$$k_{yx} = C_{m,x} C_{m,LT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}},$$

Метод 2 (только для спаренных профилей)

Коэффициенты взаимодействия k_{xx} и k_{yx} вычисляются в соответствии с Таблицей В.4 [2]:

$$k_{xx} = C_{m,x} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_x \frac{N}{\varphi_x A_{ef} R_y} \right) \leq C_{m,x} \left(1 + 0,6 \frac{N}{\varphi_x A_{ef} R_y} \right),$$

$$k_{yx} = \left(1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_x}{(C_{m,LT} - 0,25) \varphi_y A_{ef} R_y} \frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y} \right) \geq \left(1 - \frac{0,05}{(C_{m,LT} - 0,25) \varphi_y A_{ef} R_y} \frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y} \right)$$

Значения параметров $C_{m,y}$ и $C_{m,LT}$ вычисляются согласно Таблице В.5 [2].

В Таблице В.5 [2], по которой определяются коэффициенты взаимодействия, приведены расчётные формулы только для двутаврового сечения и замкнутого прямоугольного профиля. Для случая изгиба одинарного С-образного профиля (и подобных) в плоскости симметрии (относительно оси $y - y$, параллельной стенке) в принципе возможен вариант его приведения к двутавровому сечению. Но степень асимметрии такого двутавра будет весьма значительна, что существенно снизит достоверность расчёта. Поэтому расчёт коэффициентов взаимодействия k_{ij} по *Методу 2* для одинарных профилей не производится.

Расчёт по п. 7.7.10.4 [2]

В данном случае проверка устойчивости элементов из одинарных и спаренных профилей производится по формуле

$$\left(\frac{N}{\varphi A_{ef} R_y \gamma_c} \right)^{0,8} + \left(\frac{M_{y(x)} + e_N N}{\chi_{LT} W_{y(x),ef} R_y \gamma_c} \right)^{0,8} \leq 1,$$

2.3.3.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Сжатие с изгибом*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.3.22.

Сжатие с изгибом [СП260]

Наименование элемента: Элемент 3-8

Длина элемента: L 6,4 м

Расчётное осевое усилие сжатия: N 92,56 кН К-т условий работы (уст-ть) γ_c 0,9

Расчётный момент (устойчивость): M 38,22 кН·см К-т условий работы (прочность) γ_c 0,9

Расчётный момент (прочность): M 38,22 кН·см Q 22 кН Проверка прочности

Ввод расчётной длины: Ввод к-тов приведения длины:

Расчётная длина относительно оси x - x l_{efx} 6,4 м К-т приведения длины μ_x 1

Расчётная длина относительно оси y - y l_{efy} 3,2 м К-т приведения длины μ_y 1

Расчётная длина: крутильная форма L_{crT} 6,4 м Устойчивость плоской формы изгиба

Расчётная длина: плоская форма изгиба L_{crLT} 3,2 м M_{cr} 0 кН·см

Потеря устойчивости плоской формы изгиба

Граничные условия

Коэффициент закрепления концов от поворота вокруг оси элемента k_T 1

Коэффициент стеснения деформации концов элемента k_w 1

Коэффициент C_1 1,348

Коэффициент C_2 0,63

Отдельная ветвь элемента

Шаг объединения ветвей l_1 0,6 м

Уровень приложения нагрузки...

Эпюра моментов ...

Ослабление

Выбрать ... d 18 мм a_1 40 мм a_2 170 мм

Сечение

Выбрать... Сечение стойки

Сталь

Группа стандартов: GOST

Стандарт: ГОСТ 14918-2020

Сталь: 350

R_{yn} 350 Н/мм² R_{un} 420 Н/мм²

Комментарии

Вычислить Закрывать Справка

Рисунок 2.3.22 - Окно ввода данных

Вводятся наименование элемента или расчёта, геометрическая длина элемента L , расчётное осевое усилие сжатия N , расчётный изгибающий момент для расчёта на устойчивость и расчётный изгибающий момент для расчёта на прочность. Последний обязателен, если отмечена необходимость расчёта на прочность (*Выполнить проверку прочности*). Если флажок не установлен, то проверка прочности элемента не производится. Это не относится к проверке прочности отдельной ветви, которая производится в любом случае. Также вводится значение расчётной поперечной силы Q .

Пользователь может выбрать, как задать расчётные длины элемента при плоской форме потери устойчивости. Это может быть непосредственный ввод l_{efx} и l_{efy} или ввод коэффициентов приведения длины с последующим программным вычислением расчётных длин. В *Настройках Расчёта* (п.3.1) можно выбрать предпочитаемый способ задания расчётных длин.

Также, должна быть введена расчётная длина элемента при потере устойчивости по крутильной форме L_{crT} потери устойчивости и расчётная длина для расчёта на устойчивость плоской формы изгиба L_{crLT} . Последняя обязательна в случае, если в рассчитываемом элементе может произойти потеря устойчивости плоской формы изгиба. Чтобы учесть последнюю, необходимо отметить в окне ввода *Устойчивость плоской формы изгиба*. Кроме того, вводятся: коэффициент закрепления концов от поворота вокруг оси элемента k , коэффициент стеснения деформации концов элемента k_w (некоторые рекомендации по их назначению даны в п.2.3.3.1 и в Приложении Г [2]). Пользователь должен вводить согласованные между собой значения расчётной длины потери устойчивости плоской формы изгиба L_{crLT} и коэффициента k .

Вводятся коэффициенты C_1 , C_2 и C_3 . Рекомендации по их назначению приведены в п.2.3.3.1 и в Приложении Г [2], а также в [36].

Если к элементу приложена поперечная нагрузка, то путём выбора по кнопке *Уровень приложения нагрузки...* (Рисунок 2.3.23) должен быть указан уровень её приложения (см. п.2.3.3.1). Если поперечной нагрузки нет, то коэффициент $C_2 = 0$ и данный параметр в расчётах не участвует.

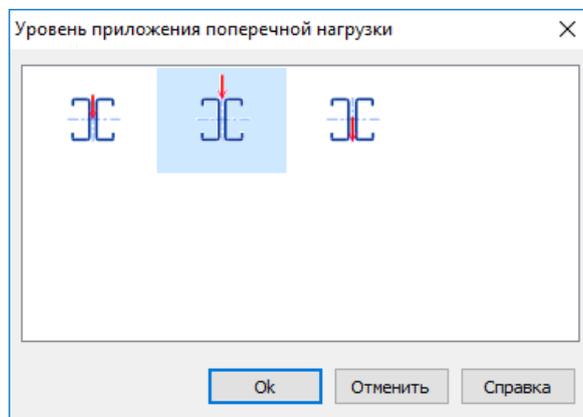


Рисунок 2.3.23 – Диалоговое окно выбора уровня приложения поперечной нагрузки (вариант для Спаренных профилей)

Для вычисления коэффициента $C_{m,0}$ перехода от реального распределения изгибающего момента по длине элемента к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов, необходимо выбрать кнопку *Эюра моментов...*, по которой в появившемся окне (Рисунок 2.3.24) выбрать наиболее подходящий вариант.

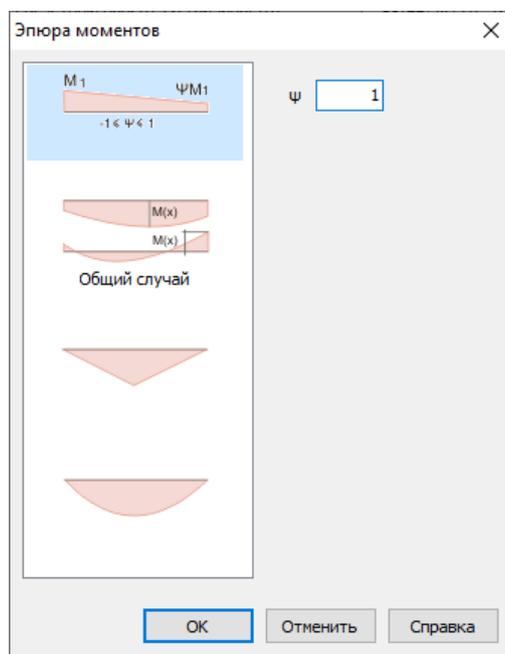


Рисунок 2.3.24 – Окно выбора характера распределения моментов по длине элемента

При выборе общего случая, пользователю предлагается ввести значение максимального изгибающего момента и максимального по длине элемента прогиба. Последний может быть

получен, например, в результате расчёта методом КЭ стержневой системы, в состав которой входит рассматриваемый элемент.

Для элементов из одинарных профилей следует также выбрать, в каком направлении действует расчётный изгибающий момент, отдельно при расчёте на прочность и при расчёте на устойчивость (сжимает стенку или отгибы).

Если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) определено: *вводить значение критического момента потери устойчивости плоской формы изгиба M_{cr}* , пользователю необходимо ввести его значение в окно ввода. Если в *Настройках Расчёта* соответствующая метка отсутствует, то значение M_{cr} вычисляется программно по методике, изложенной в Приложении Г [2] (см. п.2.3.3.1).

В случае, если потеря устойчивости плоской формы изгиба элемента невозможна, следует сбросить флажок в пункте *Устойчивость плоской формы изгиба*. Тогда понижающий коэффициент χ_{LT} (см.2.3.3.1) принимается равным единице.

Для элементов из спаренных профилей вводится *Шаг объединения вервей*. По данному значению производится проверка на превышение данного размера $30i_{ef}$ в соответствии с п.7.7.8.7 [2].

Также вводятся *коэффициенты условий работы элемента γ_c* при расчётах на устойчивость и при расчётах на прочность.

Необходимо назначить поперечное сечение элемента. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается окно выбора сечения (Рисунок 2.3.10).

Пользователь выбирает *Тип профиля*, *Базу профилей* (сортамент) и само сечение. Также необходимо выбрать: из одинарного или двойного профиля состоит поперечное сечение элемента.

При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранного выделяется сечение – фаворит. Пользователь сам назначает сечение – фаворит (п.3.1), которое всегда будет выделено при первом за сеанс работы с программой входе в окно выбора профиля. При повторном входе в окно выбора сечения загружается последнее выбранное сечение.

Кроме выбора из библиотеки сечений пользователю предоставляется возможность ввести произвольные размеры выбранного типа сечения. Это можно сделать с помощью кнопки *Редактировать*. Вводимые размеры должны находиться в пределах допускаемых величин, указанных в п.1.2. В данном режиме также можно отредактировать толщину цинкового покрытия t_{coat} .

По кнопке  появляется информационное окно со значениями геометрических характеристик полного сечения.

Если в элементе имеются ослабления сечения отверстиями (на опорах или по длине элемента), следует ввести размеры такого ослабления выбрав кнопку *Ослабление*. После чего вводятся параметры отверстий в открывшемся стандартном диалоговом окне (п.2.2).

Сталь элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.3.22). Причём обязательны для заполнения только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Пользователь сам назначает сталь – фаворит (п.3.1), которая всегда будет появляться при первом вызове окна *Сжатие*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически загружаются последние (текущее) выбранные значения, которые в свою очередь можно редактировать.

2.3.3.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки.

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.3.25). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит пять или шесть вкладок в зависимости от того, рассматривается ли ослабленное отверстиями сечение. На вкладке *Общие данные* повторяются введённые пользователем параметры расчёта.

Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения. Вид окна аналогичен показанному на Рисунке 2.3.12. На вкладке *Характеристики эффективного сечения* (Рисунок 2.3.26) приводятся геометрические характеристики эффективного сечения при равномерном сжатии. На вкладке *Характеристики эффективного сечения (изгиб)* приводятся геометрические характеристики эффективного сечения при изгибе для заданного направления изгибающего момента для расчёта на устойчивость. Для одинарных профилей приводятся характеристики при изгибе относительно оси $y - y$ для направления изгиба, введённого пользователем. Для двойных профилей – при изгибе относительно оси $x - x$. Если пользователь задал ослабление сечения отверстиями, то выводятся *Характеристики сечения нетто* (Рисунок 2.3.27).

Результаты

Общие данные | Характеристики полного сечения | Характеристики эффективного сечения | Характеристики эффективного сечения (изгиб) | Харак...

Элемент 3-8

Длина элемента	L	6,400 м
Расчётное осевое усилие сжатия	N	92,560 кН
Расчётный изгибающий момент (расчёт на устойчивость)	M	38,220 кН·см
Расчётный изгибающий момент (расчёт на прочность)	M	38,220 кН·см
Расчётная длина относительно оси x - x	l_{efx}	6,400 м
Расчётная длина относительно оси y - y	l_{efy}	3,200 м
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L_{crT}	6,400 м
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	$L_{cr,LT}$	3,200 м
Коэффициент закрепления концов от поворота вокруг оси элемента	k	1
Коэффициент стеснения деформации концов элемента	k_w	1
Коэффициент	C_1	1,348
Коэффициент	C_2	0,630

Уровень приложения поперечной нагрузки



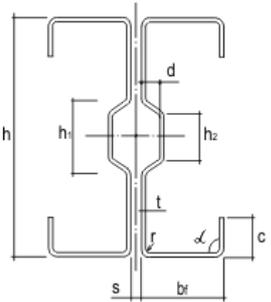
Вид эпюры моментов



Шаг объединения ветвей	l_1	0,600 м
Коэффициент условий работы (расчёт на устойчивость)	γ_c	0,9
Коэффициент условий работы (расчёт на прочность)	γ_c	0,9

Сечение

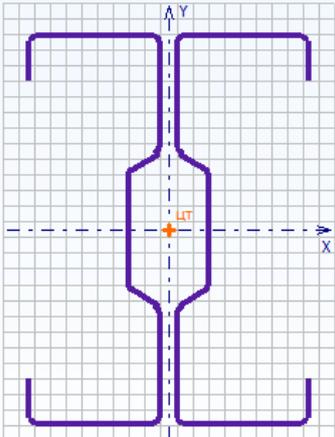
Сечение стойки



h	250,0 мм
t	2,0 мм
b	85,0 мм
h1	100,0 мм
h2	74,0 мм
d	20,0 мм
c	30,0 мм
r	3,0 мм
t_{coat}	0,04 мм
S	8,0 мм

Ослабление сечения отверстиями

Стенка



Excel | Закрыть | Справка

Рисунок 2.3.25 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов: *Общие данные*

Единицы измерения характеристик в рамках Международной системы единиц СИ или Американской системы единиц (U.S. customary), а также количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте главного меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

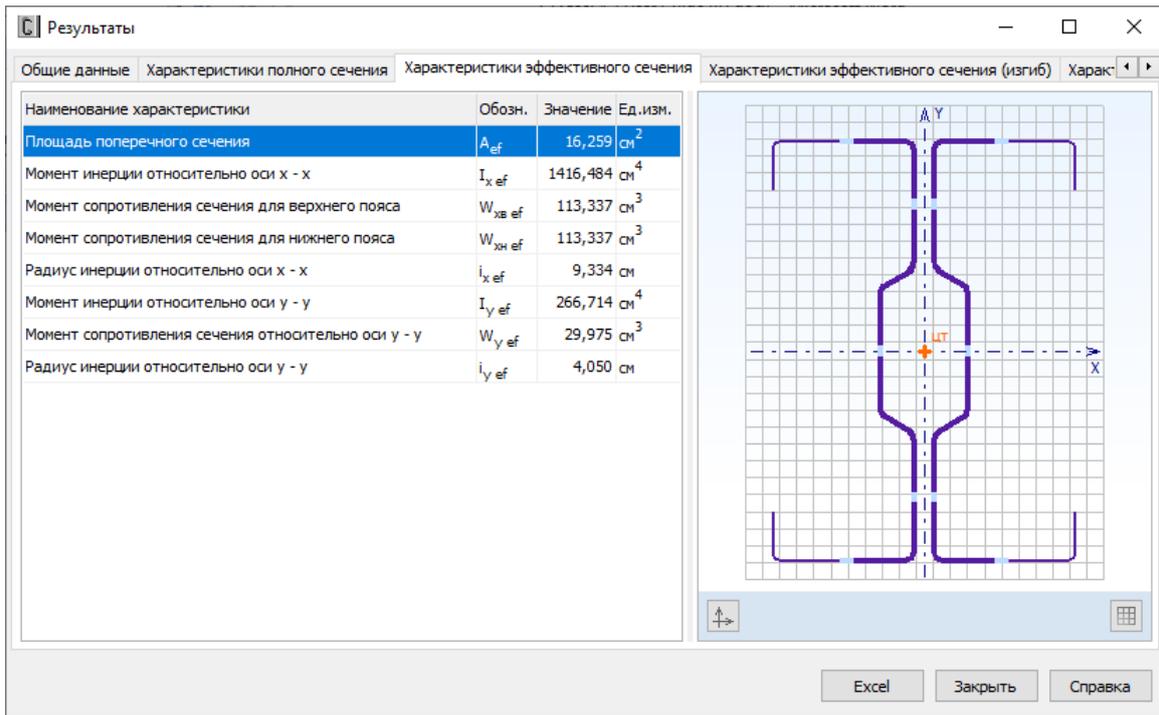


Рисунок 2.3.26,а – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики эффективного сечения (сжатие)

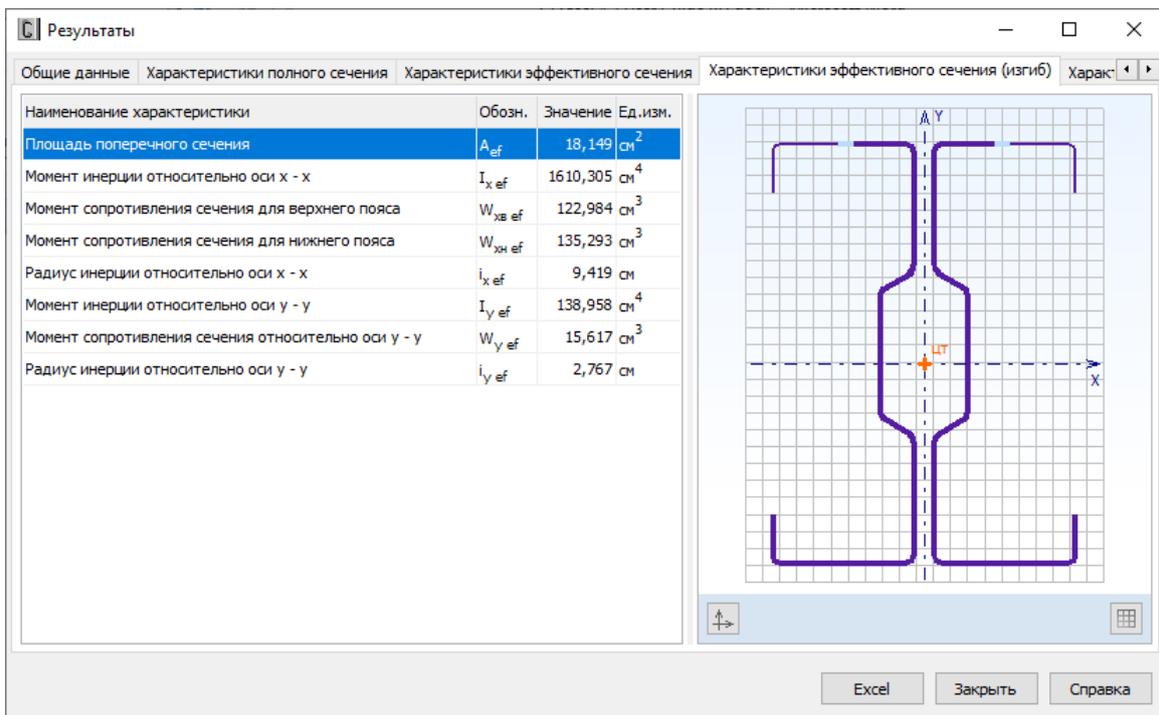


Рисунок 2.3.26,б – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики эффективного сечения (изгиб)

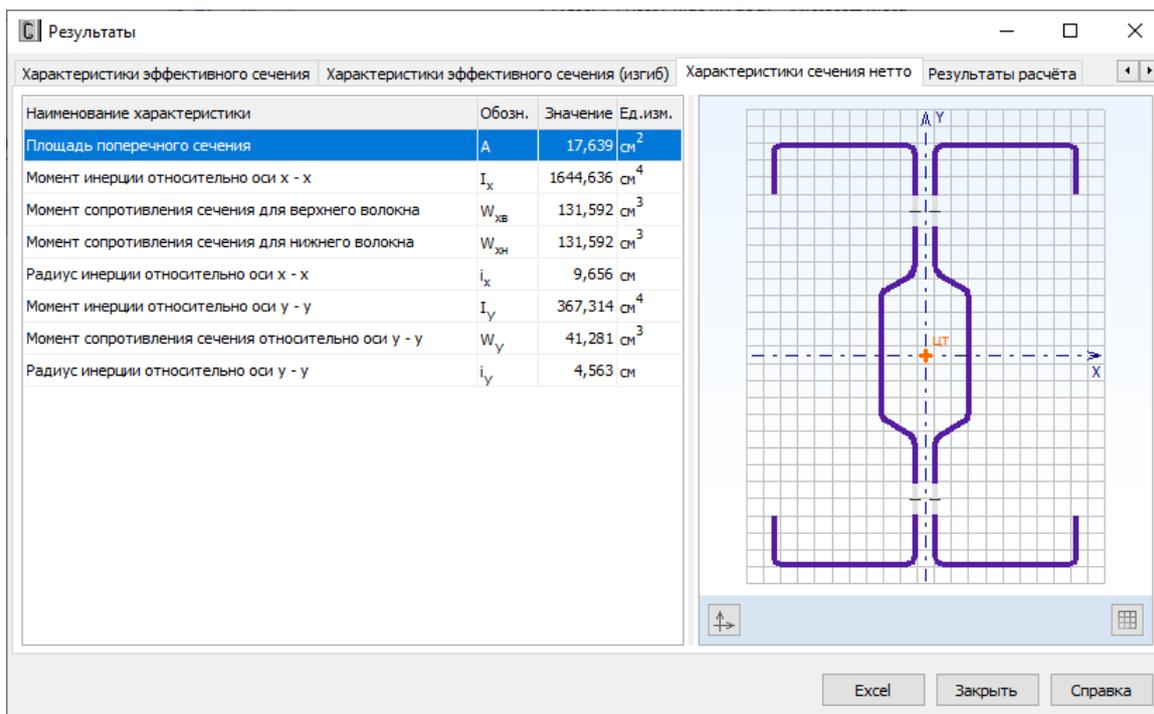


Рисунок 2.3.27 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики сечения нетто

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.3.28) функционально разделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от конкретных значений исходных данных, введённых пользователем, а также настроек расчёта, определяемых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

Результаты

Характеристики эффективного сечения | Характеристики эффективного сечения (изгиб) | Характеристики сечения нетто | Результаты расчёта

Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула)
Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом	$\frac{N}{A_{эфн} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_x}{W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$	0,207 < 1	✓ 7.7.4
Расчёт на поперечную силу	$Q / Q_w \leq 1$	0,349 < 1	✓ 7.7.6
Расчёт на прочность отдельной ветви при сжатии с изгибом	$\frac{N_i}{A_i \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_{i20}}{W_{i20} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{e_i \cdot N_i}{W_{i30} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$	0,280 < 1	✓
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)	$\frac{N}{\varphi_x A_{эф} R_y \gamma_c} + k_{xx} \frac{M_x}{\chi_{LT} W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,256 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)	$\frac{N}{\varphi_y A_{эф} R_y \gamma_c} + k_{yy} \frac{M_y}{\chi_{LT} W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,291 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.101)	$\left(\frac{N}{\varphi A_{эф} R_y \gamma_c} \right)^{0,8} + \left(\frac{e_N N + M_y(x)}{\chi_{LT} W_{y(x)} R_y \gamma_c} \right)^{0,8} \leq 1$	0,570 < 1	✓ 7.7.10.4

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Изгибающий момент	M	38,220	кН·см	
Эксцентриситет	e _N	0,000	см	7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A _{эф}	16,259	см ²	
Расчётный момент сопротивления сечения	W _{эф}	113,337	см ³	
Геометрическая длина элемента	L	6,400	м	
Расчётная длина относительно оси x - x	l _{эфx}	6,400	м	
Расчётная длина относительно оси y - y	l _{эфy}	3,200	м	
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L _{сТ}	6,400	м	
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	L _{сЛТ}	3,200	м	
Приведённая гибкость относительно оси x - x	λ̄ _x	0,791		7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	λ̄ _y	0,862		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x		a		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y		b		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ _x	0,806		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ _y	0,702		7.7.8.1
Критическая сила для крутильной формы потери устойчивости	N _{сТ}	291,369	кН	7.7.8.4
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии	M _{сЛ}	7216,944	кН·см	Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	λ̄ _{ЛТ}	0,724		7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b		7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ _{ЛТ}	0,770		7.7.9.2
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1		
Коэффициент взаимодействия	k	1,401		
Расчётное сопротивление стали	R _y	333	Н/мм ²	
Коэффициент условий работы	γ _c	0,9		

Excel | Закрыть | Справка

Рисунок 2.3.28,а – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Результаты расчёта

Результаты			
Характеристики эффективного сечения		Характеристики сечения нетто	
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула)
Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом	$\frac{N}{A_{эфн} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_x}{W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$	0,207 < 1	✓ 7.7.4
Расчёт на поперечную силу	$Q / Q_w \leq 1$	0,349 < 1	✓ 7.7.6
Расчёт на прочность отдельной ветви при сжатии с изгибом	$\frac{N_i}{A_i \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_{i20}}{W_{i20} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{\epsilon_i \cdot N_i}{W_{i30} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$	0,280 < 1	✓
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)	$\frac{N}{\varphi_x \cdot A_{эф} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + k_{xx} \cdot \frac{M_x}{\chi_{LT} \cdot W_{эф} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$	0,256 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)	$\frac{N}{\varphi_y \cdot A_{эф} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + k_{yy} \cdot \frac{M_y}{\chi_{LT} \cdot W_{эф} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$	0,291 < 1	✓ 7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.101)	$\left(\frac{N}{\varphi \cdot A_{эф} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \right)^{0,8} + \left(\frac{\epsilon_N \cdot N + M_y(x)}{\chi_{LT} \cdot W_{y(x)эф} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \right)^{0,8} \leq 1$	0,570 < 1	✓ 7.7.10.4

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.101)			
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.
Расчётный момент сопротивления сечения	$W_{y(x)эф}$	113,337	см ³
Геометрическая длина элемента	L	6,400	м
Расчётная длина относительно оси x - x	$l_{эфx}$	6,400	м
Расчётная длина относительно оси y - y	$l_{эфy}$	3,200	м
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	$L_{\sigma T}$	6,400	м
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	$L_{\sigma LT}$	3,200	м
Приведённая гибкость относительно оси x - x	$\bar{\lambda}_x$	0,791	7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,862	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x	a		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y	b		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_x	0,806	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_y	0,702	7.7.8.1
Критическая сила при крутильной форме потери устойчивости	$N_{\sigma T}$	291,369	кН
Критическая сила при изгибно-крутильной форме потери устойчивости	$N_{\sigma TF}$	291,369	кН
Условная гибкость при крутильной/изгибно-крутильной форме потери устойчивости	$\bar{\lambda}_T$	1,364	7.7.8.3
Кривая потери устойчивости при крутильной/изгибно-крутильной форме	a		7.7.8.3
Коэффициент устойчивости при крутильной/изгибно-крутильной форме потери устойчивости	φ_T	0,414	7.7.8.3
Расчётный понижающий коэффициент	φ	0,414	
Упругий критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба	M_{cr}	7216,944	кН·см
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,724	7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)	b		7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	0,770	7.7.9.2
Расчётное сопротивление стали	R_y	333	Н/мм ²
Коэффициент условий работы	γ_c	0,9	

Рисунок 2.3.28,б – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Результаты расчёта

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена. Единицы измерения и количество знаков после запятой определяются пользователем (п.3.2).

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML.

На Рисунках 2.3.29 – 2.3.34 приведено представление данных о выполненном расчёте в Microsoft Excel®.

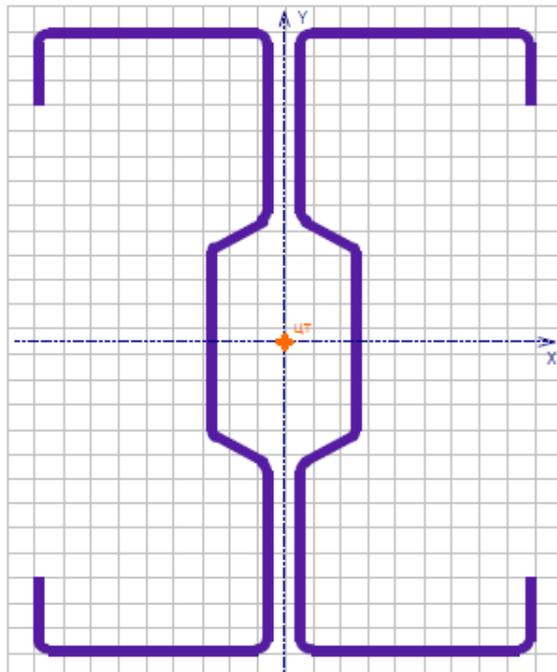
 Delta Engineering Software http://www.CFSteel.ru mailto:deltaing@mail.ru		CFSteel 4.3 User CP260	страница 1 21.04.2022
Элемент 3-8			
Длина элемента	L	6,400 м	
Расчётное осевое усилие сжатия	N	92,560 кН	
Расчётный изгибающий момент (расчёт на устойчивость)	M	38,220 кН·см	
Расчётный изгибающий момент (расчёт на прочность)	M	38,220 кН·см	
Расчётная длина относительно оси x - x	l_{ex}	6,400 м	
Расчётная длина относительно оси y - y	l_{ey}	3,200 м	
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	$L_{cr,T}$	6,400 м	
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	$L_{cr,LT}$	3,200 м	
Коэффициент закрепления концов от поворота вокруг оси элемента	k	1	
Коэффициент стеснения деформации концов элемента	k_w	1	
Коэффициент	C_1	1,348	
Коэффициент	C_2	0,630	
Уровень приложения поперечной нагрузки			
Вид эпюры моментов			
Шаг объединения ветвей	l_1	0,600 м	
Коэффициент условий работы (расчёт на устойчивость)	γ_c	0,9	
Коэффициент условий работы (расчёт на прочность)	γ_c	0,9	
Сечение			
Сечение стойки			
	h	250,0 мм	
	t	2,0 мм	
	b	85,0 мм	
	h_1	100,0 мм	
	h_2	74,0 мм	
	d	20,0 мм	
	c	30,0 мм	
	r	3,0 мм	
	t_{coat}	0,04 мм	
	S	8,0 мм	
Ослабление сечения отверстиями			
	Стенка		
Диаметр отверстия	d	18,0 мм	
	a_1	40,0 мм	
	a_2	170,0 мм	
Сталь			
Группа стандартов		GOST	
Стандарт		ГОСТ 14918-2020	
Сталь		350	
Нормативное сопротивление стали по пределу текучести	R_{yn}	350 Н/мм ²	
Нормативное сопротивление стали по пределу прочности	R_{un}	420 Н/мм ²	
Модуль упругости	E	206000 Н/мм ²	
Коэффициент Пуассона	ν	0,3	
Коэффициент надёжности по материалу	γ_m	1,05	

Рисунок 2.3.29 – Вывод результатов в Excel. Общие данные

Элемент 3-8

Сечение стойки

Характеристики полного сечения



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A	19,050 см ²
Момент инерции относительно оси x - x	I _x	1746,976 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси x - x	W _x	139,780 см ³
Радиус инерции относительно оси x - x	i _x	9,576 см
Момент инерции относительно оси y - y	I _y	367,672 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси y - y	W _y	41,321 см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	i _y	4,393 см
Момент инерции при свободном кручении	I _t	0,243327 см ⁴
Секториальный момент инерции	I _w	61274,221 см ⁶
Вес одного погонного метра профиля		15,49 кг/м

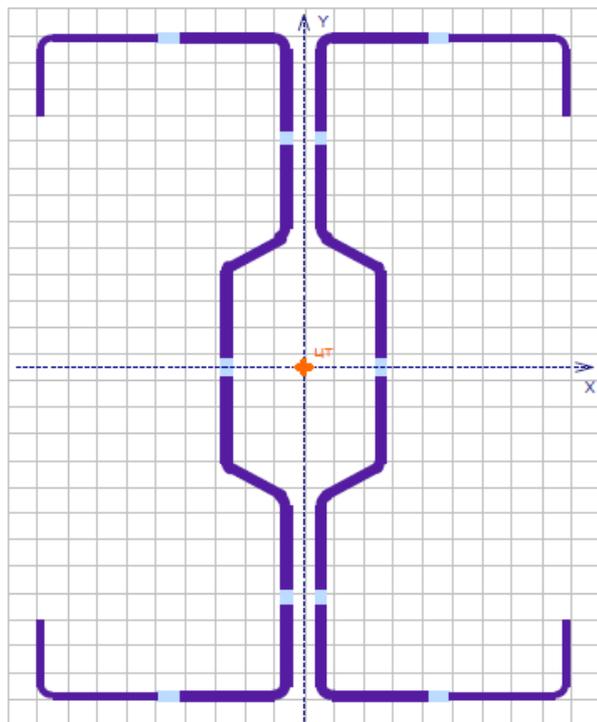
Рисунок 2.3.30 – Вывод результатов в Excel. Геометрические характеристики полного сечения



Элемент 3-8

Сечение стойки

Характеристики эффективного сечения



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A_{ef}	16,259 cm^2
Момент инерции относительно оси x - x	$I_{x\ ef}$	1416,484 cm^4
Момент сопротивления сечения для верхнего пояса	$W_{x\sbst\ ef}$	113,337 cm^3
Момент сопротивления сечения для нижнего пояса	$W_{x\sbnd\ ef}$	113,337 cm^3
Радиус инерции относительно оси x - x	$i_{x\ ef}$	9,334 см
Момент инерции относительно оси y - y	$I_{y\ ef}$	266,714 cm^4
Момент сопротивления сечения относительно оси y - y	$W_{y\ ef}$	29,975 cm^3
Радиус инерции относительно оси y - y	$i_{y\ ef}$	4,050 см

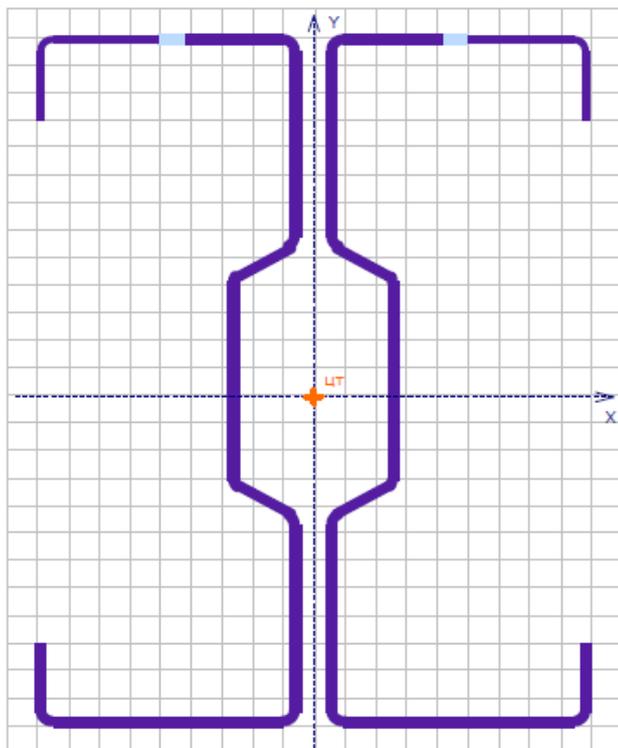
Рисунок 2.3.31 – Вывод результатов в Excel. Геометрические характеристики эффективного сечения (сжатие)



Элемент 3-8

Сечение стойки

Характеристики эффективного сечения (изгиб)



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A_{ef}	18,149 cm^2
Момент инерции относительно оси x - x	$I_{x,ef}$	1610,305 cm^4
Момент сопротивления сечения для верхнего пояса	$W_{xв,ef}$	122,984 cm^3
Момент сопротивления сечения для нижнего пояса	$W_{xн,ef}$	135,293 cm^3
Радиус инерции относительно оси x - x	$i_{x,ef}$	9,419 см
Момент инерции относительно оси y - y	$I_{y,ef}$	138,958 cm^4
Момент сопротивления сечения относительно оси y - y	$W_{y,ef}$	15,617 cm^3
Радиус инерции относительно оси y - y	$i_{y,ef}$	2,767 см

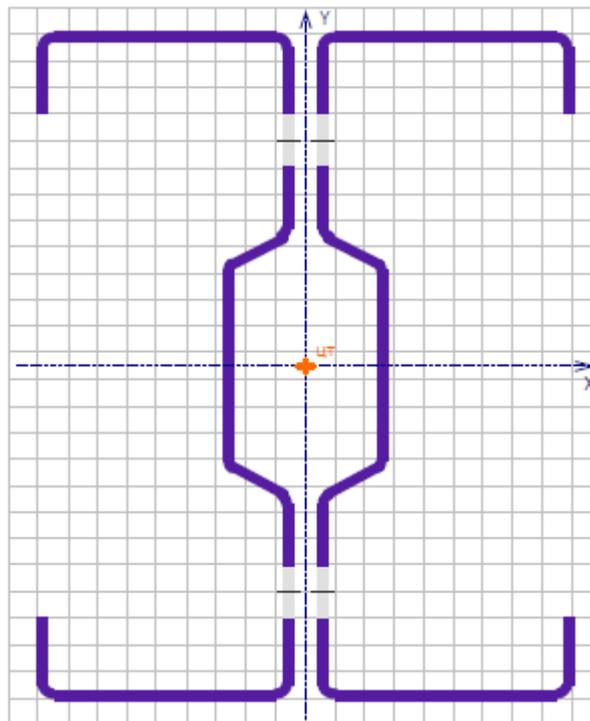
Рисунок 2.3.32 – Вывод результатов в Excel. Геометрические характеристики эффективного сечения (изгиб)



Элемент 3-8

Сечение стойки

Характеристики сечения нетто



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A	17,639 см ²
Момент инерции относительно оси x - x	I _x	1644,636 см ⁴
Момент сопротивления сечения для верхнего волокна	W _{хв}	131,592 см ³
Момент сопротивления сечения для нижнего волокна	W _{хн}	131,592 см ³
Радиус инерции относительно оси x - x	i _x	9,656 см
Момент инерции относительно оси y - y	I _y	367,314 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси y - y	W _y	41,281 см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	i _y	4,563 см

Рисунок 2.3.33 – Вывод результатов в Excel. Геометрические характеристики сечения нетто

Элемент 3-8

Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Статус	Пункт (формула) СП 260
Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом	$\frac{N}{A_{эф} R_y \gamma_c} + \frac{M_x}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1$	0,207 < 1	✓	7.7.4
Расчёт на поперечную силу	$Q / Q_w \leq 1$	0,349 < 1	✓	7.7.6
Расчёт на прочность отдельной ветви при сжатии с изгибом	$\frac{M_1}{A_1 R_y \gamma_c} + \frac{M_{1,от}}{W_{1,от} R_y \gamma_c} + \frac{\sigma_1 \cdot M_1}{W_{1,от} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,280 < 1	✓	
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)	$\frac{N}{\varphi_x A_{эф} R_y \gamma_c} + k_{yx} \frac{M_x}{\chi_{LT} W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,256 < 1	✓	7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)	$\frac{N}{\varphi_y A_{эф} R_y \gamma_c} + k_{yx} \frac{M_x}{\chi_{LT} W_{эф} R_y \gamma_c} \leq 1$	0,291 < 1	✓	7.7.10.3
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.101)	$\left(\frac{N}{\varphi A_{эф} R_y \gamma_c}\right)^{1,0} + \left(\frac{\sigma_x N + M_y(y)}{\chi_{LT} W_{эф} R_y \gamma_c}\right)^{0,2} \leq 1$	0,570 < 1	✓	7.7.10.4

Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	92,560 кН		
Расчётный изгибающий момент	M _x	38,220 кН·см		
Площадь эффективного сечения	A _{эф}	15,786 см ²		
Расчётный момент сопротивления сечения	W _x	113,337 см ³		
Расчётное сопротивление стали	R _y	333 Н/мм ²		
Кoeffициент условий работы	γ _c	0,9		

Расчёт на поперечную силу

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
----------	--------	----------	---------	------------------------

Рисунок 2.3.34,а – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (начало)*

Элементы

Расчётная поперечная сила	Q	22,000 кН		
Расчётная высота стенки	s_w	248,0 мм	7.7.6	
Расчётная толщина	t	2,0 мм		
Условная гибкость стенки	$\bar{\lambda}_{wv}$	1,761	7.7.6	
Расчётное сопротивление стали сдвигу	R_s	72 Н/мм ²	7.7.6	
Расчётная несущая способность сечения от действия поперечной силы	Q_w	63,006 кН	(7.7.9)	
Расчёт на прочность отдельной ветви при сжатии с изгибом				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N_1	50,908 кН		
Изгибающий момент в ветви относительно её оси	M_{1x0ef}	21,021 кН·см		
Расстояние от центра тяжести сечения из спаренных профилей до центра тяжести эффективного сечения отдельной ветви	e_1	0,346 см		
Расчётная площадь сечения ветви	A_1	7,893 см ²		
Расчётный момент сопротивления сечения ветви	W_{1x0ef}	61,492 см ³		
Расчётный момент сопротивления сечения ветви	W_{1y0ef}	27,818 см ³		
Расчётное сопротивление стали	R_y	333 Н/мм ²		
Кэффициент условий работы	γ_c	0,9		
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.99)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	92,560 кН		
Изгибающий момент	M	38,220 кН·см		
Эксцентриситет	e_N	0,000 см	7.7.2.3	
Площадь эффективного сечения	A_{ef}	16,259 см ²		
Расчётный момент сопротивления сечения	W_{ef}	113,337 см ³		

Рисунок 2.3.34,б – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (продолжение)*

Элементы

Геометрическая длина элемента	L	6,400 м	
Расчётная длина относительно оси x - x	l_{ex}	6,400 м	
Расчётная длина относительно оси y - y	l_{ey}	3,200 м	
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L_{crT}	6,400 м	
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	L_{crL}	3,200 м	
Приведённая гибкость относительно оси x - x	$\bar{\lambda}_x$	0,791	7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,862	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x		a	7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y		b	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_x	0,806	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_y	0,702	7.7.8.1
Критическая сила для крутильной формы потери устойчивости	N_{crT}	291,369 кН	7.7.8.4
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии	M_{cr}	7216,944 кН·см	Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{crL}$	0,724	7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b	7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{crL}	0,770	7.7.9.2
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1	
Коэффициент взаимодействия	k	1,428	
Расчётное сопротивление стали	R_y	333 Н/мм ²	

Рисунок 2.3.34,в – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (продолжение)*

Коэффициент условий работы	γ_c	0,9		
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.100)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	92,560 кН		
Изгибающий момент	M	38,220 кН·см		
Эксцентриситет	e_N	0,000 см		7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A_{ef}	16,259 см ²		
Расчётный момент сопротивления сечения	W_{ef}	113,337 см ³		
Геометрическая длина элемента	L	6,400 м		
Расчётная длина относительно оси x - x	l_{ex}	6,400 м		
Расчётная длина относительно оси y - y	l_{ey}	3,200 м		
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	L_{crT}	6,400 м		
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	L_{crL}	3,200 м		
Приведённая гибкость относительно оси x - x	$\bar{\lambda}_x$	0,791		7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,862		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x		a		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y		b		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_x	0,806		7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_y	0,702		7.7.8.1
Критическая сила для крутильной формы потери устойчивости	N_{crT}	291,369 кН		7.7.8.4
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии	M_{cr}	7216,944 кН·см		Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,724		7.7.9.2

Рисунок 2.3.34,г – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (продолжение)*

Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b	7.7.9.2	
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\chi_{ст}$	0,770	7.7.9.2	
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1		
Коэффициент взаимодействия	k	1,401		
Расчётное сопротивление стали	R_s	333 Н/мм ²		
Коэффициент условий работы	γ_c	0,9		
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (7.101)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) СП 260
Расчётное осевое усилие сжатия	N	92,560 кН		
Изгибающий момент	$M_{y(x)}$	38,220 кН·см		
Эксцентриситет	e_N	0,000 см		7.7.2.3
Площадь эффективного сечения	A_{ef}	16,259 см ²		
Расчётный момент сопротивления сечения	$W_{y(x)ef}$	113,337 см ³		
Геометрическая длина элемента	L	6,400 м		
Расчётная длина относительно оси x - x	l_{ex}	6,400 м		
Расчётная длина относительно оси y - y	l_{ey}	3,200 м		
Расчётная длина при крутильной форме потери устойчивости	$L_{крт}$	6,400 м		
Расчётная длина при потере устойчивости плоской формы изгиба	$L_{крт}$	3,200 м		
Приведённая гибкость относительно оси x - x	$\bar{\lambda}_x$	0,791		7.7.8.1
Приведённая гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,862		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси x - x		a		7.7.8.1
Кривая потери устойчивости относительно оси y - y		b		7.7.8.1

Рисунок 2.3.34,д – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (продолжение)*

Элементы

Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_x	0,806	7.7.8.1
Коэффициент устойчивости при центральном сжатии	φ_y	0,702	7.7.8.1
Критическая сила при крутильной форме потери устойчивости	N_{crit}	291,369 кН	7.7.8.4
Критическая сила при изгибно-крутильной форме потери устойчивости	N_{critF}	291,369 кН	7.7.8.5
Условная гибкость при крутильной/изгибно-крутильной форме потери устойчивости	$\bar{\lambda}_T$	1,364	7.7.8.3
Кривая потери устойчивости при крутильной/изгибно-крутильной форме		a	7.7.8.3
Коэффициент устойчивости при крутильной/изгибно-крутильной форме потери устойчивости	φ_T	0,414	7.7.8.3
Расчётный понижающий коэффициент	φ	0,414	
Упругий критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба	M_{cr}	7216,944 кН·см	Приложение Г
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,724	7.7.9.2
Кривая потери устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)		b	7.7.9.2
Понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	0,770	7.7.9.2
Расчётное сопротивление стали	R_y	333 Н/мм ²	
Коэффициент условий работы	γ_c	0,9	

Рисунок 2.3.34,е – Вывод результатов в Excel. *Результаты расчёта (окончание)*

2.4. Расчёт по Eurocode (EN)

2.4.1. Общие замечания

Расчёт производится в соответствии с нормами EN 1990 [4], EN 1993-1-1 [5], EN 1993-1-3 [6], EN 1993-1-5 [7], EN 1993-1-8 [8], а также соответствующими нормами Республики Беларусь [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] и Республики Казахстан [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Обозначение осей в программе принято аналогичным Еврокодам.

При расчётах устойчивости плоской формы изгиба принят общий случай в соответствии с п.6.3.2.2 EN 1993-1-1 [5].

2.4.2. Национальные приложения

Параметры, определяемые на национальном уровне (Национально Определяемые (Устанавливаемые) Параметры) (Nationally Determined Parameters - NDP), которые приводятся в Национальных Приложениях (National Annexes), для большинства стран Евросоюза и некоторых других государств, применяемых Еврокоды, уже определены в CFSteel. В Таблице 2.4.1 приведены государства и их Национальные Приложения, NDP которых реализованы в программе.

Таблица 2.4.1 – Государства и Национальные Приложения

	CEN EU	Европейский Союз	Comite European de Normalization
	Austria	Австрия	ONORM B 1993-1-1* ONORM B 1993-1-3
	Belarus	Республика Беларусь	ТСП/ТКП EN 1993-1-1-2009 ТСП/ТКП EN 1993-1-3-2009
	Belgium	Бельгия	NBN EN 1993-1-3/ANB NBN EN 1993-1-3/ANB
	Bulgaria	Болгария	BDS EN 1993-1-1/NA BDS EN 1993-1-3/NA
	Cyprus	Кипр	CYS EN 1993-1-1/NA CYS EN 1993-1-3/NA
	Czech Republic	Чехия	CSN EN 1993-1-1/NA* CSN EN 1993-1-3/NA
	Denmark	Дания	DS/EN 1993-1-1 DK NA DS/EN 1993-1-3 DK NA
	Finland	Финляндия	SFS EN 1993-1-1/NA* SFS EN 1993-1-3/NA
	France	Франция	NF EN 1993-1-1/NA NF EN 1993-1-3/NA
	Germany	Германия	DIN EN 1993-1-1/NA* DIN EN 1993-1-3/NA
	Greece	Греция	ELOT EN 1993-1-1* ELOT EN 1993-1-3
	Ireland	Ирландия	I.S. EN 1993-1-1/NA* I.S. EN 1993-1-3/NA
	Italy	Италия	UNI EN 1993-1-1/NA UNI EN 1993-1-3/NA
	Kazakhstan	Республика Казахстан	SR RK EN/СП РК EN
	Lithuania	Литва	LST EN 1993-1-1/NA LST EN 1993-1-3/NA
	Luxembourg	Люксембург	LU EN 1993-1-1/AN-LU LU EN 1993-1-3/AN-LU
	Malaysia	Малайзия	MS EN 1993-1-1/NA

			MS EN 1993-1-3/NA
	Netherlands	Нидерланды	NEN EN 1993-1-1/NA* NEN EN 1993-1-3/NA
	Norway	Норвегия	NS EN 1993-1-1/NA* NS EN 1993-1-3/NA
	Poland	Польша	PN EN 1993-1-1/NA* PN EN 1993-1-3/NA
	Portugal	Португалия	NP EN 1993-1-1/NA NP EN 1993-1-3/NA
	Romania	Румыния	SR EN 1993-1-1/NA SR EN 1993-1-3/NA
	Singapore	Сингапур	SS EN 1993-1-1/NA SS EN 1993-1-3/NA
	Slovakia	Словакия	STN EN 1993-1-1/NA* STN EN 1993-1-3/NA
	Slovenia	Словения	SIST EN 1993-1-1/A101*
	Spain	Испания	UNE EN 1993-1-1/NA UNE EN 1993-1-1/NA
	Sweden	Швеция	SS EN 1993-1-1/NA SS EN 1993-1-3/NA
	United Kingdom	Соединённое Королевство	BS EN 1993-1-1/NA BS EN 1993-1-3/NA

* В пункте 6.3.3(4) для вычисления коэффициентов взаимодействия k_{ij} реализован только Метод 1 (Приложение А)

В Таблице 2.4.2 приведены пункты соответствующих норм, параметры расчёта которых в программе определяются в соответствии с Национальными Приложениями.

Таблица 2.4.2 – Нормы и пункты с NDP

Нормы	Пункты норм
EN 1990	Приложение А.1 (Табл.А1.1, А1.2(В))
EN 1993-1-1	6.1(1)В, 6.3.2.2(2), 6.3.2.3(1), 6.3.3(5)
EN 1993-1-3	2(3), 2(5), 8.3(5), 8.3(13)
EN 1993-1-8	2.2.2, 3.1.1(3)

Пользователю доступно редактирование значений Национально Определяемых Параметров (*Настройки* → *Расчёт* → *ЕСЗ* → *Национальное приложение*) (п.3.1). Таким образом, имеется возможность настройки значений NDP и поддержания их в актуальном состоянии.

Также пользователь имеет возможность создать собственную редактируемую комбинацию NDP безотносительно какого-либо государства.

В программе учтены некоторые особенности в назначении величин частных коэффициентов по нормам ТКП EN и СП РК EN.

В Национальных Приложениях к ТКП EN [11, 13] значения частных коэффициентов безопасности вычисляются: $\gamma_{M0} = \gamma_m / \gamma_c$; $\gamma_{M1} = \gamma_m / \gamma_c$, где γ_m – коэффициент безопасности по материалу, равный 1,025 для проката, поставляемого по ГОСТ 27772 или другим технических нормативных правовых актах (ТНПА) Республики Беларусь, в которых используется процедура контроля свойств проката по ГОСТ 27772; и равный 1,05 – для остального проката. γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице НП.4 Национального Приложения к ТКП EN 1993-1-1 [11] и вводимый пользователем (Рисунок 2.4.1).

Значение $\gamma_{M2} = \gamma_u$.

где γ_u – коэффициент надёжности для элементов, рассчитываемых на прочность с использованием расчётных сопротивлений, установленных по временному сопротивлению стали. Согласно Национального Приложения к ТКП EN 1993-1-3 [13] $\gamma_u = 1,3$.

Расчёт

Общее ЕС3

Общие данные Национальное приложение

Частные коэффициенты

$\gamma_{M0} = \gamma_m / \gamma_c$ $\gamma_{M1} = \gamma_m / \gamma_c$ $\gamma_{M2} = \gamma_u$

Коэффициент безопасности по материалу γ_m 1,025

Коэффициент условий работы γ_c 0,9

Коэффициент надёжности γ_u 1,3

Расчёт по эксплуатационной пригодности $\gamma_{M,ser}$ 1

Расчётная несущая способность метизов γ_{M2} 1,25

Коэффициент надёжности по ответственности γ_n 1

Частный коэффициент: несущая способность по снятию ($t \geq 3$ мм) γ_{M2} 1,85

Параметры для потери устойчивости плоской формы изгиба

К-т начальных несовершенств Кривая: a b c d

Таблица 6.3 α_{LT} : 0,21 0,34 0,49 0,76

Гибкость $\lambda_{LT,0}$ 0,4

К-ты взаимодействия k_{ij} в п. 6.3.3(4)

Метод 1 (Приложение А)

Метод 2 (Приложение В)

Сбросить ОК Отменить Справка

Рисунок 2.4.1 – Национально Определяемые Параметры Республики Беларусь

В соответствии с Национальным Приложением к СП РК EN 1993-1-1 [19] для конструкционных сталей, используемых при проектировании в соответствии с Еврокодами, принимаются рекомендуемые в EN значения частных коэффициентов: $\gamma_{M0} = 1,0$, $\gamma_{M1} = 1,0$, $\gamma_{M2} = 1,25$. Значения частных коэффициентов для сталей по нормам Республики Казахстан (ГОСТ, СНиП и др.) принимаются: $\gamma_{M0} = \gamma_m / \gamma_c$; $\gamma_{M1} = \gamma_m / \gamma_c$, где γ_m – коэффициент надёжности по материалу, равный 1,025 для проката, поставляемого по ГОСТ 27772, и равный 1,05 – для остального проката. γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый по СНиП РК 5.04-23-2002 и вводимый пользователем. $\gamma_{M2} = \gamma_u$, где γ_u – коэффициент надёжности для элементов, рассчитываемых на прочность с использованием расчётных сопротивлений, установленных по временному сопротивлению стали.

На Рисунке 2.4.2 приведены два варианта диалоговых окон для редактирования параметров расчёта.

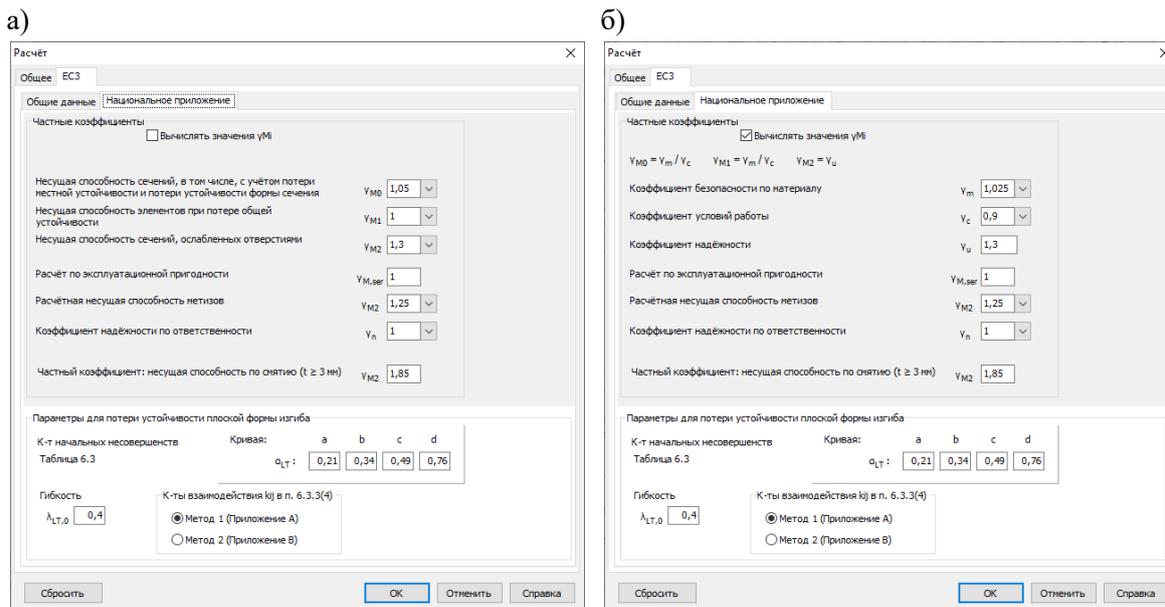


Рисунок 2.4.2 - Национально Определяемые Параметры Республики Казахстан:

а) – вариант ввода значений γ_M ; б) – вариант вычисления значений γ_M

В Национальном Приложении к ТКП EN 1993-1-3 [13] определено значение частного коэффициента безопасности для расчёта несущей способности метизов/болтов $\gamma_{M2} = 1,25$. В соответствии с п.2.2(2) ТКП EN 1993-1-8 [15] и НП к ТКП EN 1993-1-8 [16] при определении несущей способности болтов и несущей способности пластин на смятие применяется частный коэффициент безопасности γ_{M2} , численные значения которого принимаются по техническим нормативным правовым актам (ТНПА) Республики Беларусь. В программе пользователь имеет возможность вводить любое значение γ_{M2} расчёта несущей способности метизов/пластин на смятие (Рисунок 2.4.1).

В Национальном Приложении к СП РК EN 1993-1-3 [21] в п. НП.2.9 при определении расчётной несущей способности метизов принято значение частного коэффициента надёжности $\gamma_{M2} = 1,25$. В НП к СП РК EN 1993-1-8 [23] в таблице НП.1 приводятся значения Национально Определяемых Параметров частных коэффициентов безопасности при расчёте соединений, в частности, на болтах. Выдержки приведены в Таблице 2.4.3. В программе пользователь вводит значение частного коэффициента безопасности γ_{M2} для расчёта несущей способности метизов/болтов.

В таблице НП.1 [23] отдельно определяется значение γ_{M2} для расчёта несущей способности пластин на смятие. В программе также организован отдельный ввод для данного коэффициента (Рисунок 2.4.2), который применяется для расчёта несущей способности элементов в месте прикрепления на смятие.

Таблица 2.4.3 – Некоторые Национально Определяемые Параметры, связанные с расчётом болтовых соединений (из таблицы НП.1 [23])

Несущая способность элементов и поперечных сечений	Частные коэффициенты безопасности γ_M
Несущая способность болтов	$\gamma_{M2} = 1,5$ для 5.6 и 8.8; $\gamma_{M2} = 1,25$ для 5.8 и 10.9
Несущая способность пластин на смятие	$\gamma_{M2} = 1,56$ для класса точности А $\gamma_{M2} = 1,85$ для класса точности В

Особенностью норм ТКП EN и СП РК EN в части управления уровнем надёжности, реализованной в программе CFSteel, является включение в расчёты конструкций коэффициента надёжности по ответственности γ_n вместо коэффициентов K_{Fl} . Классификация объектов по уровням ответственности и значения коэффициента γ_n приведены в ГОСТ 27751. В CFSteel полагается, что расчётные усилия, на которые производятся проверки элементов, определены с учётом этого коэффициента и в соответствии с указаниями EN 1990. В модуле расчёта ферм CFSTruss [29] в соответствии с [1] на коэффициент γ_n умножаются нагрузки. Применение EN 1990 для расчёта ферм подробно описано в *CFSteel v.4.3. Документация. Том III. Расчёт ферм из стальных тонкостенных холодногнутох профилей. Руководство пользователя* [29].

2.4.3. Растянутые элементы

2.4.3.1. Методика расчёта

Расчёт растянутых элементов из тонкостенных холодногнутох профилей производится на осевое растяжение. Расчёт по несущей способности элемента выполняется как в месте прикрепления, так и в сечениях по длине элемента, в том числе, с учётом возможных ослаблений отверстиями для болтов.

Рассматриваются прикрепления элемента через стенку профиля, через пояса или через стенку и пояса (Рисунок 2.4.3).

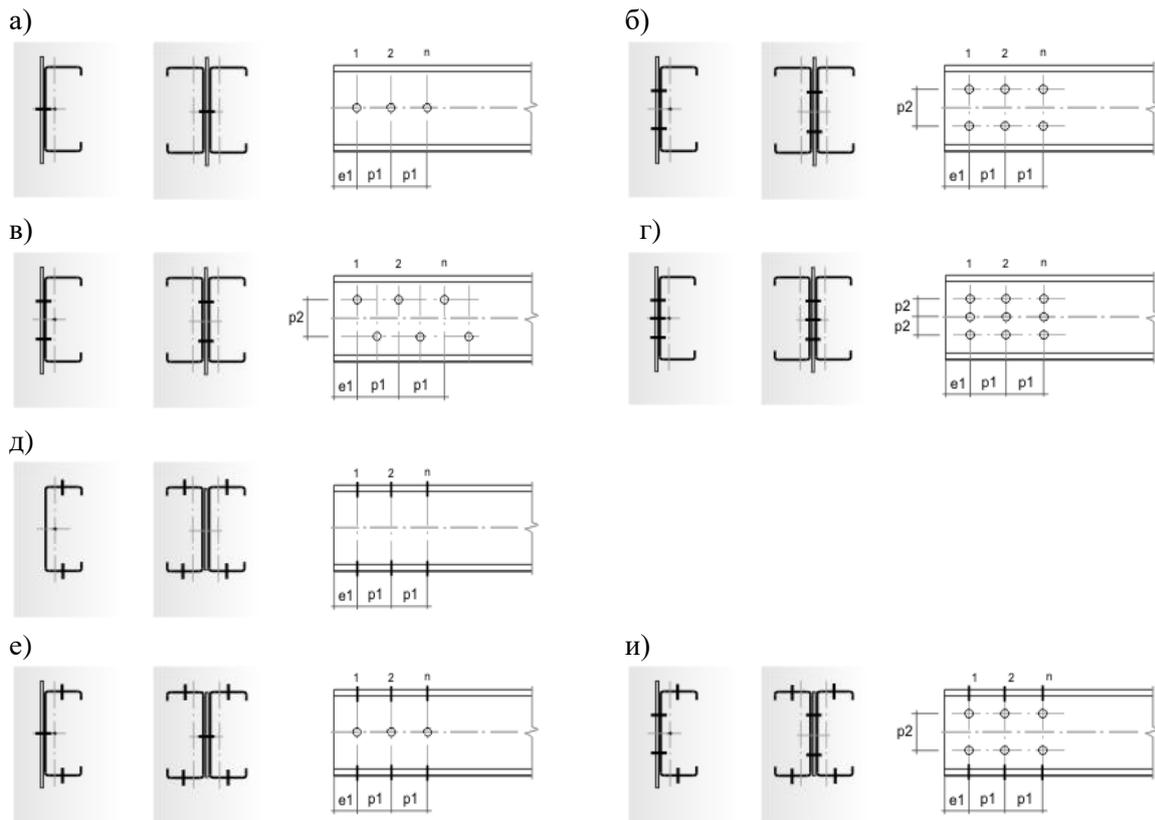


Рисунок 2.4.3 – Варианты прикреплений одиночных элементов: а, б, в, г – через стенку; д – через пояса; е, и – через стенку и пояса

Для растянутых элементов производятся следующие расчёты:

- проверка на предотвращение чрезмерных удлинений элемента;

- проверка на предотвращение разрушения от разрыва по ослабленному сечению (если ослабление имеет место);
- проверка гибкости элемента.

Кроме того, в месте прикрепления элемента выполняются расчёты по следующим критериям:

- предотвращение разрушения от разрыва по ослабленному отверстиями сечению;
- предотвращение смятия болтами присоединяемых частей рассчитываемого элемента;
- предотвращение вырыва части элемента в месте прикрепления.

В месте прикрепления производятся только расчёты, связанные с несущей способностью элемента. Полного расчёта соединения не производится. Пользователь должен выполнять расчёт соединения отдельно.

Подробное изложение методики расчёта растянутых элементов содержится в Руководстве пользователя, поставляемом лицензированным пользователям CFSteel, и здесь не приводится.

В части Национальных Приложений исключены некоторые классы прочности болтов. В частности, это имеет место в НП к СП РК EN 1993-1-8:2005/2011 [23] (Таблица НП.2). Эти данные приведены в Таблице 2.4.4.

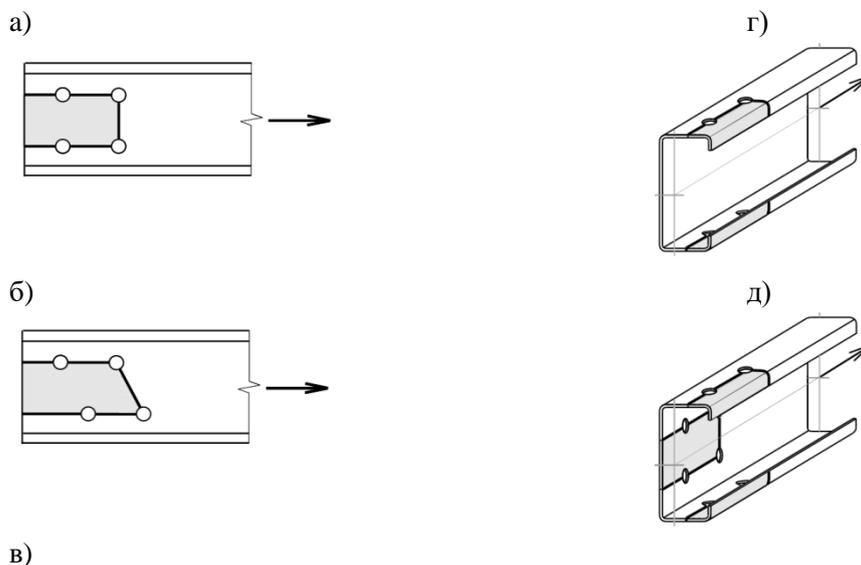
Таблица 2.4.4 (НП.2 [23]) – Номинальные значения предела текучести f_{yb} и временного сопротивления на растяжение f_{ub} болтов

Класс прочности	5.6	5.8	8.8	10.9
f_{yb} Н/мм ²	300	400	640	900
f_{ub} Н/мм ²	500	500	800	1000

Пользователь должен следить за тем, чтобы применять те классы болтов, которые предусмотрены в Национальном Приложении, по которому производится расчёт. Иначе в программе принимаются во внимание данные, приведённые в Таблице 3.1 [8].

Особенности назначения коэффициента γ_{M2} в программе в соответствии с Таблицей НП.1 Национального Приложения к СП РК EN 1993-1-8:2005/2011 [23]) подробно описаны в п. 2.4.2.

Расчётная несущая способность по вырыву части элемента в месте прикрепления определяется по п.3.10.2 [8]. На Рисунке 2.4.4 показаны рассмотренные варианты вырыва части элемента в месте прикрепления для одиночных профилей.



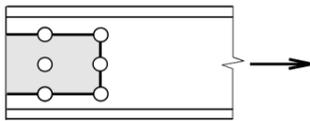


Рисунок 2.4.4 – Варианты вырыва части элемента в месте прикрепления для одиночных профилей

2.4.3.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Растяжение*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунок 2.4.5.

Рисунок 2.4.5 – Окно ввода данных для расчёта растянутых элементов

Вводятся значения *расчётного растягивающего усилия* N_{Ed} и *длины элемента* L . Далее уточняется конструктивное решение элемента. Определяется конструкция прикрепления к смежным элементам, а также назначаются возможные ослабления по длине самого элемента. Для назначения конструктивного решения прикрепления необходимо щёлкнуть левой кнопкой мыши на место прикрепления на *Схеме элемента*. После чего появляется окно выбора типа прикрепления (Рисунок 2.3.3), в котором выбирается подходящий вариант. Диаметр отверстия в месте прикрепления определяется в *Настройках Расчёта* (п.3.1).

Если по длине элемента имеются ослабления, то необходимо щёлкнуть левой кнопкой мыши на среднюю часть элемента на *Схеме элемента*. После чего появляется окно выбора типа ослабления (Рисунок 2.3.4), на котором необходимо сделать соответствующий выбор, а также назначить диаметр отверстия, если он отличается от диаметра отверстий в прикреплении. Варьируя диаметром отверстия, можно ввести эквивалентное значение другого вида

ослабления, имея ввиду, что это ослабление должно быть симметрично относительно продольной оси элемента.

Далее вводятся необходимые размеры прикрепления на панели *Конструкция*.

Также следует назначить поперечное сечение элемента. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается окно выбора сечения (Рисунок 2.3.5). Пользователь выбирает *Тип профиля*, *Базу профилей* (сортамент) и само сечение. Также необходимо выбрать: из одинарного или двойного профиля состоит поперечное сечение элемента.

При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранного выделяется сечение – фаворит. Пользователь сам назначает сечение – фаворит (п.3.1), которое всегда будет выделено при первом за сеанс работы с программой входе в окно выбора профиля. При повторном входе в окно выбора сечения загружается последнее выбранное (текущее) сечение.

Кроме выбора из библиотеки сечений пользователю предоставляется возможность ввести произвольные размеры выбранного типа сечения. Это можно сделать выбрав *Редактировать*. Вводимые размеры должны находиться в пределах допускаемых величин, указанных в п.1.2. В данном режиме также можно отредактировать толщину цинкового покрытия t_{coat} .

По кнопке  появляется информационное окно со значениями геометрических характеристик выбранного сечения.

Сталь растянутого элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.4.5). Причём обязательны для заполнения только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Пользователь сам назначает сталь – фаворит (п.3.1), которая всегда будет появляться при первом вызове окна *Растяжение*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически загружаются последние (текущие) выбранные значения, которые в свою очередь можно редактировать.

Также в окне *Растяжение* вводится значение *предельной гибкости элемента*. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

2.4.3.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки (например, печати).

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.4.6). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит три вкладки. На вкладке *Общие данные* выводятся наименование расчёта, расчётное усилие, длина элемента, конструктивное решение элемента с размерами в месте прикрепления, название сечения, производитель профиля (наименование сортамента), размеры поперечного сечения, данные о стали, комментарии.

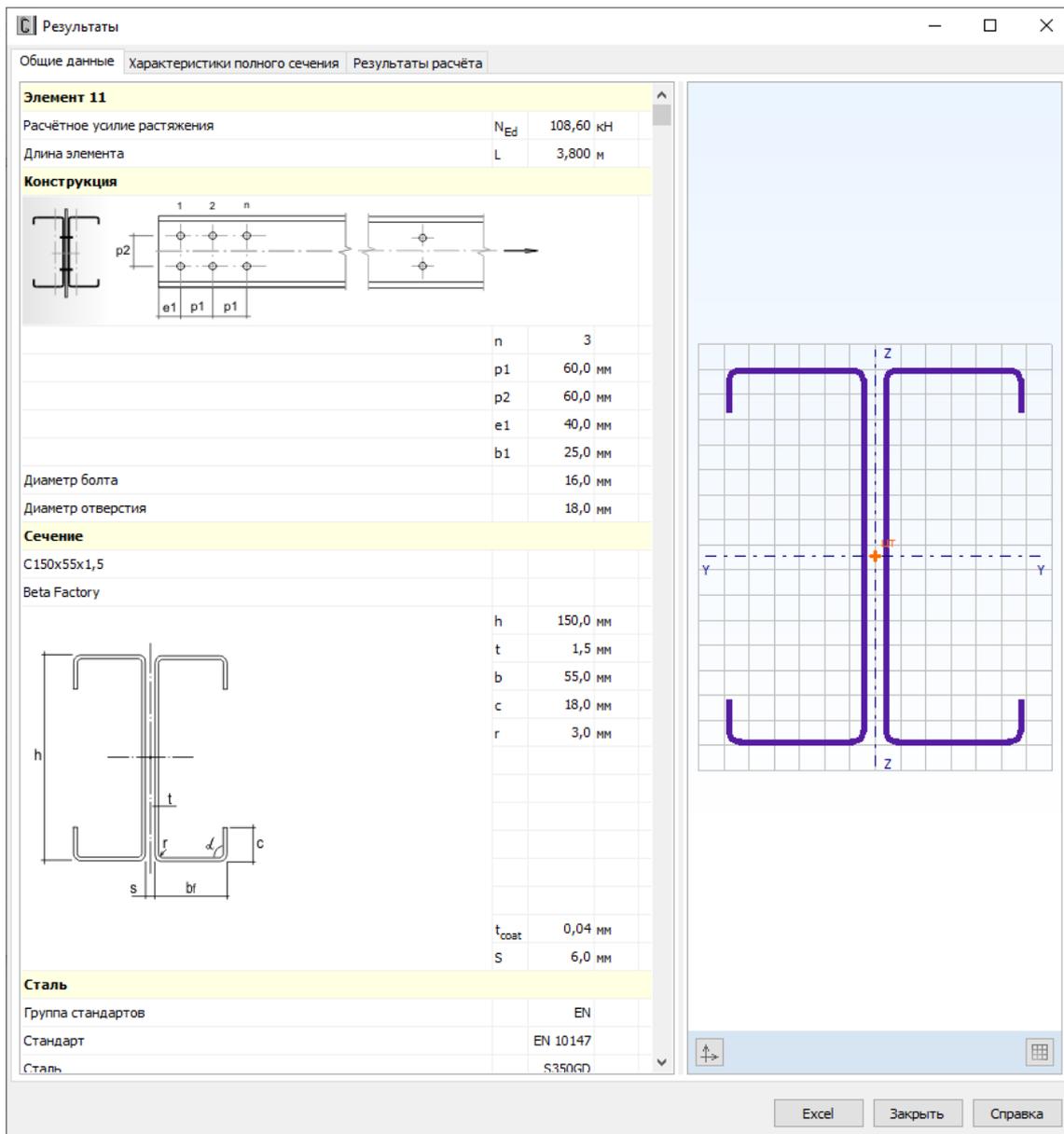


Рисунок 2.4.6 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов: *Общие данные*

Вкладка *Характеристики полного сечения* (Рисунок 2.4.7) содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. Единицы измерения характеристик в рамках Международной системы единиц СИ или Американской системы единиц (U.S. customary), а также количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте главного меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.4.8) функционально поделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от настроек расчёта, определяемых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование,

обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена. Единицы измерения и количество знаков после запятой определяются пользователем (п.3.2).

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML.

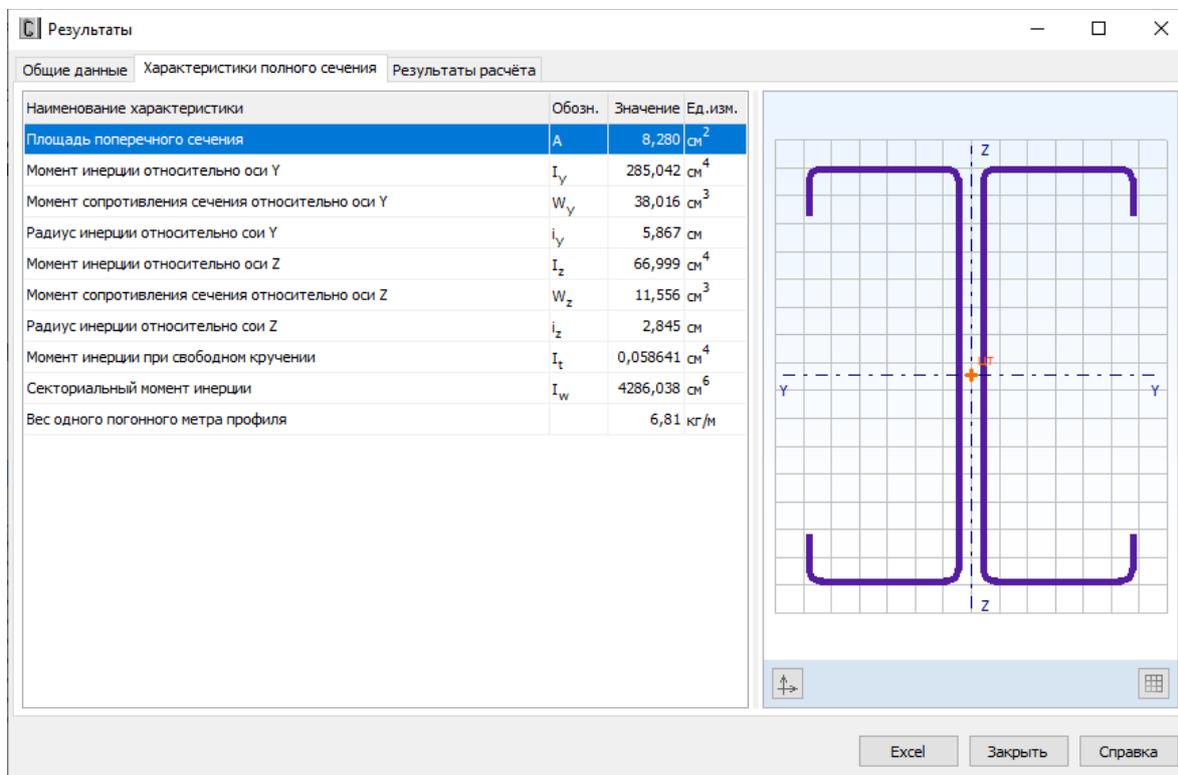


Рисунок 2.4.7 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов:
Характеристики полного сечения

Результаты			
Общие данные			
Характеристики полного сечения			
Результаты расчёта			
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула)
Проверка несущей способности по сечению брутто	$N_{Ed} / N_{t0,Rd} \leq 1$	0,364 < 1	✓ п. 6.1.2 EN 1993-1-3
Проверка несущей способности по сечению нетто по длине элемента	$N_{Ed} / N_{t0,Rd} \leq 1$	0,497 < 1	✓
Проверка несущей способности по разрыву в месте прикрепления	$N_{Ed} / N_{t0,Rd} \leq 1$	0,886 < 1	✓ п. 6.1.2 EN 1993-1-3, п. 3.10.3 EN 1993-1-8
Проверка несущей способности по снятию в месте прикрепления	$N_{Ed} / N_{tb,Rd} \leq 1$	0,623 < 1	✓ Табл. 8.4 EN 1993-1-3 или Табл. 3.4 EN 1993-1-8
Проверка несущей способности по вырыву в месте прикрепления	$N_{Ed} / N_{tbs,Rd} \leq 1$	0,614 < 1	✓ п. 3.10.2 EN 1993-1-8
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	133,6 < 300	✓

Проверка несущей способности по разрыву в месте прикрепления элемента				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Расчётное усилие растяжения	N_{Ed}	108,60	кН	
Площадь сечения нетто в месте прикрепления	A_n	6,440	см ²	
Предел прочности стали	f_u	420	Н/мм ²	
Частный коэффициент	γ_{M2}	1,25		
Редукционный коэффициент	β	0,567		п. 3.10.3 EN 1993-1-8
Номинальный диаметр отверстия	h_0	18,0	мм	
Расчётная несущая способность по разрыву в месте прикрепления	$N_{t0,Rd}$	122,63	кН	п. 3.10.3 EN 1993-1-8

Excel Закрыть Справка

Рисунок 2.4.8 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов:
Результаты расчёта

2.4.4. Центральные сжатые элементы

2.4.4.1. Методика расчёта

Для центрально сжатых элементов выполняются следующие расчёты:

- проверка прочности;
- проверка на устойчивость по изгибной форме потери устойчивости;
- проверка на устойчивость по крутильной и/или изгибно-крутильной форме потери устойчивости;
- проверка устойчивости элемента как внецентренно-сжатого стержня (для одинарных профилей с неполностью эффективным сечением);
- проверка по предельной гибкости.

Подробное изложение методики расчёта сжатых элементов содержится в Руководстве пользователя, поставляемом лицензированным пользователям CFSteel, и здесь не приводится.

2.4.4.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Сжатие*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.4.10.

Сжатие [EC3 CEN EC]

Наименование элемента: Конструктивный элемент 16

Длина элемента L : 1,21 м

Расчётное усилие сжатия N_{Ed} : 69,45 кН

Коэффициент приведения длины относительно оси $y - y$ k_y : 1

Коэффициент приведения длины относительно оси $z - z$ k_z : 1

Коэффициент закрепления концов элемента от кручения k_T : 1

Критический момент потери устойчивости LTB M_{cr} : 0 кН·см

Ослабления: Выбрать...

Предельная гибкость λ_{cr} : 200

Комментарии

Сечение: Sgm 200-60-1,5 Delta Factory

Сталь: EN 10147 S350GD

f_y : 350 Н/мм² f_u : 420 Н/мм²

Вычислить, Закрыть, Справка

Рисунок 2.4.10 - Окно ввода данных для расчёта сжатых элементов

Пользователю предоставляется возможность ввести *наименование элемента* или расчёта, *геометрическую длину элемента L* , *расчётное усилие сжатия N_{Ed}* , коэффициенты *приведения длины относительно осей $y - y$ и $z - z$ (k_y и k_z)* и *коэффициент закрепления концов элемента от кручения k_T* , с помощью которого вычисляется расчётная длина элемента при потере устойчивости по крутильной форме: $L_T = k_T L$. Рекомендации по назначению k_T приведены в п.2.4.4.1.

Если в *Настройках Расчёта* (п. 3.1) определено вводить значение критического момента потери устойчивости плоской формы изгиба M_{cr} пользователю необходимо ввести его значение в окно ввода. Если в *Настройках Расчёта* соответствующая метка отсутствует, то значение M_{cr} вычисляется программно по методике, изложенной в п. 2.4.4.1.

Далее назначается поперечное сечение элемента. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается стандартное окно выбора сечения (Рисунок 2.3.10).

Если в элементе имеются ослабления сечения отверстиями (на опорах или по длине элемента), следует ввести размеры такого ослабления по кнопке *Выбрать...* на панели *Ослабления*. После чего ввести параметры отверстий в открывшемся диалоговом окне (п.2.2).

Сталь элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.4.10). Причём обязательны для заполнения только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Пользователь сам назначает сталь – фаворит (п.3.1), которая всегда будет появляться при первом вызове окна *Сжатие*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически

загружаются последние выбранные (текущие) значения, которые в свою очередь можно редактировать.

Также в окне *Сжатие* вводится значение *Предельной гибкости элемента*. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

2.4.4.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel® или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки.

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.4.11). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит четыре или пять вкладок в зависимости от того, рассматривается ли ослабленное отверстиями сечение. На вкладке *Общие данные* повторяются введённые пользователем параметры расчёта.

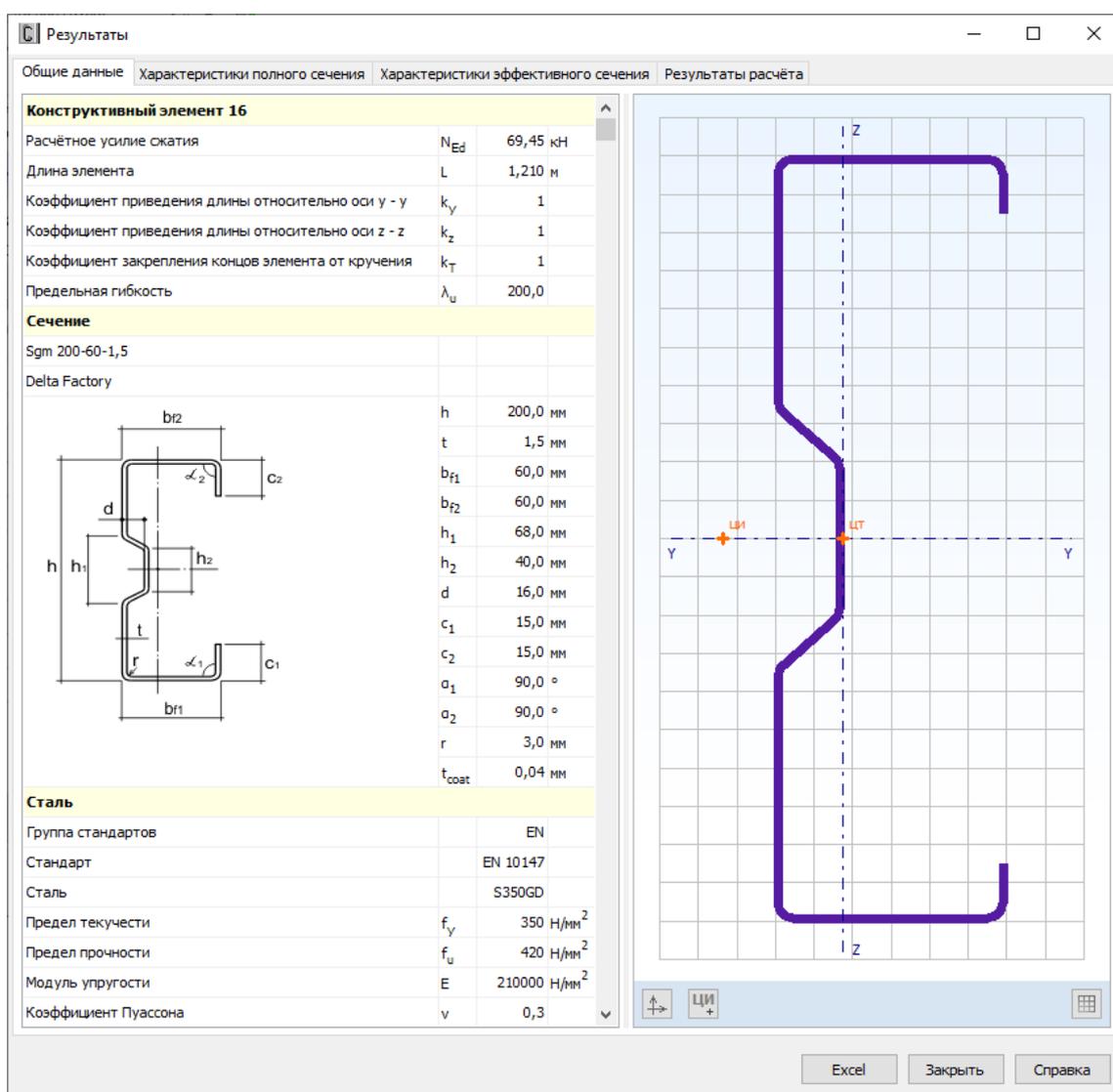


Рисунок 2.4.11 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов: *Общие данные*

Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. На вкладках *Характеристики эффективного сечения* (Рисунок 2.4.12) и *Характеристики сечения нетто*

(если имеются ослабления) приводятся геометрические характеристики соответствующих сечений.

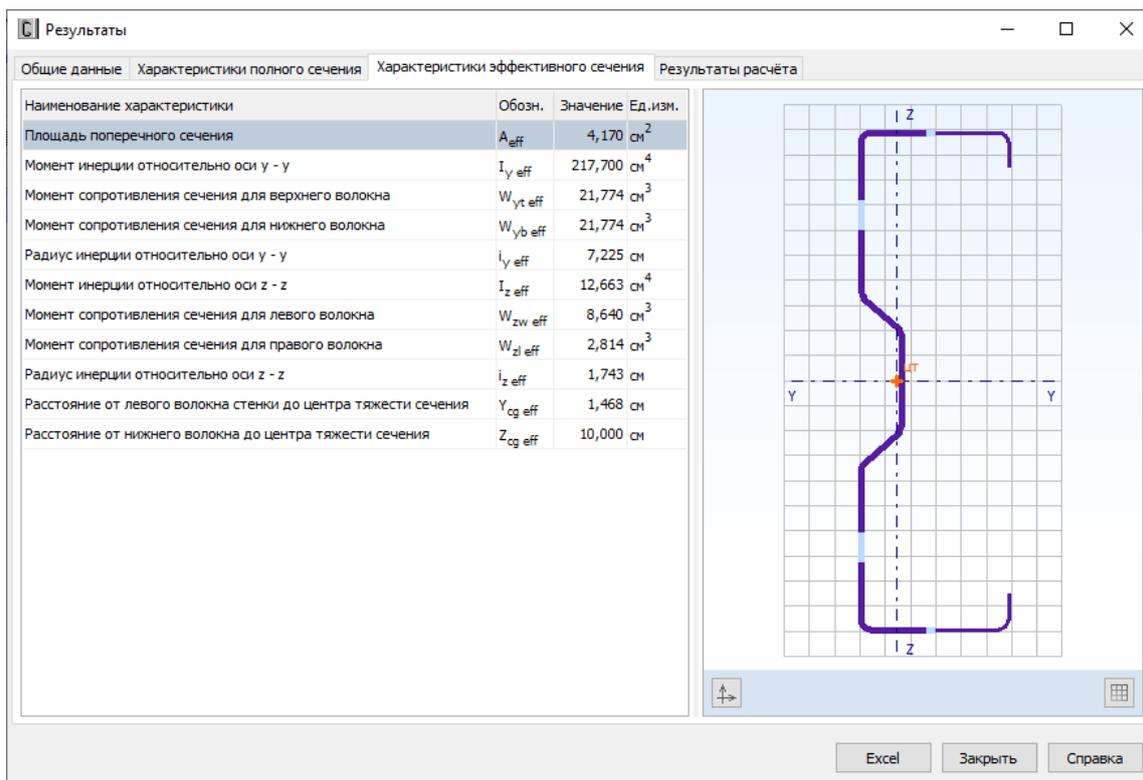


Рисунок 2.4.12 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Характеристики эффективного сечения

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.4.13) функционально поделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от значений исходных данных, введённых пользователем, а также настроек расчёта, определяемых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

Результаты				
Общие данные				
Характеристики полного сечения				
Характеристики эффективного сечения				
Результаты расчёта				
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) EN 1993-1-3	
Расчёт на прочность при сжатии	$N_{Ed} / N_{c,Rd} + e_N N_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$	0,624 < 1	✓	6.1.9
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{e_N N_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1$	0,875 < 1	✓	6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{e_N N_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1$	0,753 < 1	✓	6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия	$(N_{Ed} / N_{b,Rc})^{0,8} + (M_{Ed} / M_{b,Rc})^{0,8} \leq 1$	0,952 < 1	✓	6.2.5
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	61,7 < 200	✓	

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное усилие сжатия	N_{Ed}	69,45	кН	
Эксцентриситет	e_N	0,279	см	6.1.3
Геометрическая длина элемента	L	1,210	м	
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,210	м	
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,210	м	
Условная гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,188		
Условная гибкость относительно оси z - z	$\bar{\lambda}_z$	0,723		
Редукционный коэффициент при изгибной форме потери устойчивости относительно оси y - y	χ_y	1,000		6.3.1 EN 1993-1-1
Редукционный коэффициент при изгибной форме потери устойчивости относительно оси z - z	χ_z	0,771		6.3.1 EN 1993-1-1
Площадь полного сечения	A	5,131	см ²	
Площадь эффективного сечения (сжатие)	A_{eff}	4,170	см ²	
Предел текучести	f_y	350	Н/мм ²	
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000		
Нормативное значение сопротивления сжатию	N_{Rk}	145,95	кН	6.3.1.1 EN 1993-1-1
Расчётный момент сопротивления сечения	W	2,814	см ³	
Упругий критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба	M_{cr}	4081,09	кН·см	
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,155		6.3.2.2 EN 1993-1-1
Кривая устойчивости		b		6.2.4
Коэффициент начальных несовершенств	α_{LT}	0,34		
Редукционный коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	1,000		6.3.2.2 EN 1993-1-1
Нормативное значение сопротивления изгибающему моменту	M_{Rk}	98,51	кН·см	
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1		
Коэффициент взаимодействия	k	1,311		Приложение A EN 1993-1-1

Excel Закрыть Справка

Результаты			
Общие данные	Характеристики полного сечения	Характеристики эффективного сечения	Результаты расчёта
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчёт на прочность при сжатии	$N_{Ed} / N_{c,Rd} + e_N N_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$	0,624 < 1	✓ 6.1.9
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_T N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{e_N N_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1$	0,875 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{e_N N_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1$	0,753 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия	$(N_{Ed} / N_{b,Rd})^{0,8} + (M_{Ed} / M_{b,Rd})^{0,8} \leq 1$	0,952 < 1	✓ 6.2.5
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	61,7 < 200	✓

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное усилие сжатия	N_{Ed}	69,45	кН	
Эксцентриситет	e_N	0,279	см	6.1.3
Площадь полного сечения	A	5,131	см ²	
Площадь эффективного сечения	A_{eff}	4,170	см ²	
Геометрическая длина элемента	L	1,210	м	
Коэффициент приведения длины относительно оси y - y	k_y	1		
Коэффициент приведения длины относительно оси z - z	k_z	1		
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,210	м	
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,210	м	
Условная гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,188		6.3.1.3 EN 1993-1-1
Условная гибкость относительно оси z - z	$\bar{\lambda}_z$	0,723		6.3.1.3 EN 1993-1-1
Кривая устойчивости (ось y - y)		b		Table 6.3
Коэффициент начальных несовершенств	α_y	0,34		Table 6.1 EN 1993-1-1
Кривая устойчивости (ось z - z)		b		Table 6.3
Коэффициент начальных несовершенств	α_z	0,34		Table 6.1 EN 1993-1-1
Редукционный коэффициент	χ_{min}	0,771		6.3.1.2 EN 1993-1-1
Предел текучести	f_y	350	Н/мм ²	
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000		
Расчётная несущая способность по изгибной форме потери устойчивости	$N_{bF,Rd}$	112,49	кН	6.3.1.1 EN 1993-1-1
Коэффициент приведения длины при расчёте на кручение	k_T	1		6.2.3(8)
Расчётная длина при расчёте на кручение	L_T	1,210	м	
Критическая сила по крутильной форме потери устойчивости в упругой стадии	$N_{cr,T}$	395,85	кН	(6.33a)
Критическая сила по изгибной форме потери устойчивости относительно оси y - y	$N_{cr,y}$	4118,71	кН	
Критическая сила по изгибно-крутильной форме потери устойчивости в упругой стадии	$N_{cr,TF}$	390,25	кН	(6.35)
Условная гибкость при крутильной/изгибно-крутильной форме потери устойчивости	$\bar{\lambda}_T$	0,612		6.3.1.4 EN 1993-1-1
Кривая устойчивости		b		Table 6.3
Коэффициент начальных несовершенств	α	0,34		Table 6.1 EN 1993-1-1
Редукционный коэффициент	χ	0,831		6.3.1.2 EN 1993-1-1

Рисунок 2.4.13 – Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:
Результаты расчёта

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена. Единицы измерения и количество знаков после запятой определяются пользователем (п.3.2).

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel[®] либо конвертировать результаты в формат HTML.

2.4.5. Сжатые с изгибом элементы

2.4.5.1. Методика расчёта

Для сжатых с изгибом элементов выполняются следующие расчёты:

- проверка прочности полного/эффективного поперечного сечения;
- проверка прочности сечения нетто;
- проверка прочности сечения элемента на действие поперечной силы;
- проверка на устойчивость;
- проверка по предельной гибкости.

Подробное изложение методики расчёта сжатых с изгибом элементов содержится в Руководстве пользователя, поставляемом лицензированным пользователям CFSteel, и здесь не приводится.

Расчёт элемента на устойчивость производится по двум вариантам: по п.6.2.5 [6] и по п.6.3.3 [5].

В соответствии с п.6.2.5 [6] для сжатых с изгибом элементов должно выполняться условие:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1. \quad (2.4.59)$$

На Рисунках 2.4.15 – 2.5.18 в графическом виде представлены значения коэффициентов C_1 и C_2 для различных случаев совместного действия концевых моментов и поперечной нагрузки (Рисунок 2.4.14), где параметр μ представляет собой отношение изгибающего момента, вызванного поперечной нагрузкой, к максимальному моменту M .

Для случая а) (Рисунок 2.4.14):

$$\mu = \frac{q L^2}{8M},$$

Для случая б) (Рисунок 2.4.14):

$$\mu = \frac{F L}{4M}.$$

Значение μ принимается положительным, если M и поперечная нагрузка (q или F) вызывают изгиб элемента в одном направлении (т.е. как показано на Рисунке 2.4.14). Иначе μ отрицательно.

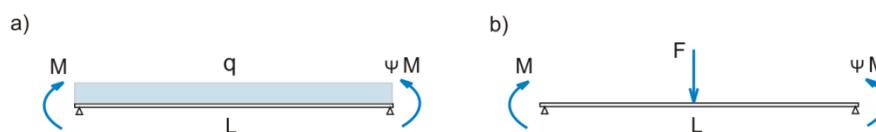


Рисунок 2.4.14 - Совместное действие концевых моментов и поперечной нагрузки:

- равномерно-распределённая нагрузка;
- сосредоточенная сила в середине пролёта

Таблица 2.4.6 - Значения коэффициентов C_1 и C_3 . Загружение концевыми моментами [36]

Концевые моменты и граничные условия	Вид эпюры изгибающих моментов	Значение k	Значение коэффициентов		
			C_1	C_3	
				$\psi_f \leq 0$	$\psi_f > 0$
		1,0	1,00	1,000	
		0,5	1,05	1,019	
		1,0	1,14	1,000	
		0,5	1,19	1,017	
		1,0	1,31	1,000	

Элементы

	$\psi = 1/4$	0,5	1,37	1,000	
	$\psi = 1/4$	1,0	1,52	1,000	
		0,5	1,60	1,000	
	$\psi = 0$	1,0	1,77	1,000	
		0,5	1,86	1,000	
	$\psi = -1/4$	1,0	2,06	1,000	0,850
		0,5	2,15	1,000	0,650
	$\psi = -1/2$	1,0	2,35	1,000	$1,3-1,2 \psi_f$
		0,5	2,42	0,950	$0,77- \psi_f$
	$\psi = -3/4$	1,0	2,60	1,000	$0,55- \psi_f$
		0,5	2,45	0,850	$0,35- \psi_f$
	$\psi = -1$	1,0	2,60	$- \psi_f$	$- \psi_f$
		0,5	2,45	$0,125-0,7 \psi_f$	$-0,125-0,7\psi_f$

Таблица 2.4.7 - Значения коэффициентов C_1 C_2 и C_3 . Загружение поперечной нагрузкой [36]

Загружение и граничные условия	Вид эпюры изгибающих моментов	Значение k	Значение коэффициентов		
			C_1	C_2	C_3
		1,0	1,12	0,45	0,525
		0,5	0,97	0,36	0,478
		1,0	1,35	0,59	0,411
		0,5	1,05	0,48	0,338
		1,0	1,04	0,42	0,562
		0,5	0,95	0,31	0,539

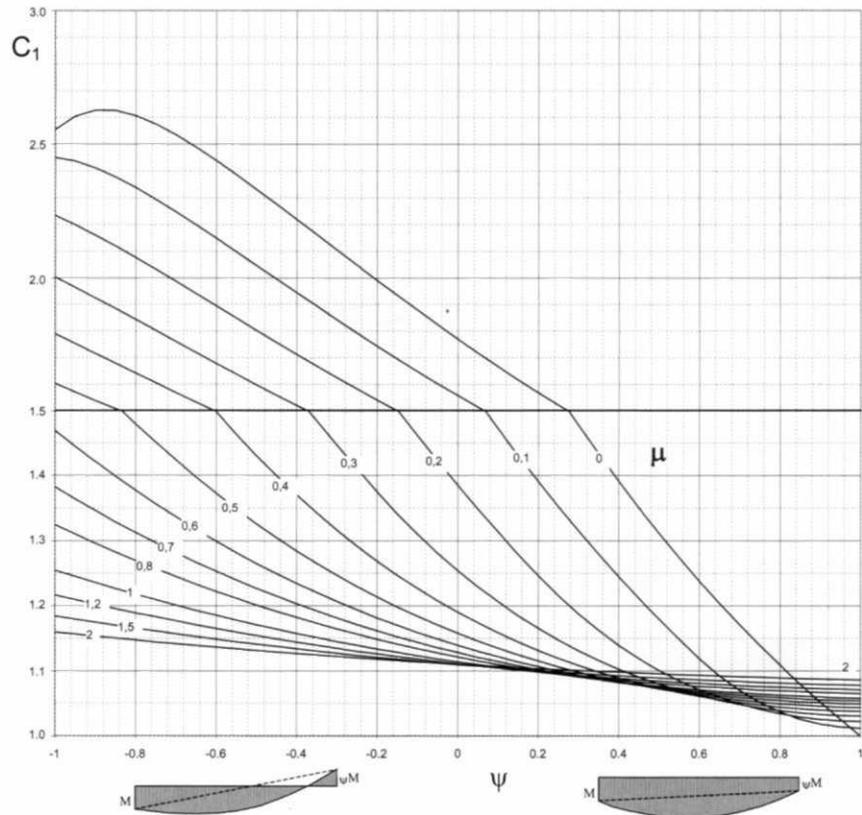


Рисунок 2.4.15, а – Значения коэффициента C_1 для элемента, загруженного концевыми моментами и равномерно распределённой нагрузкой: $\mu > 0$ [36]

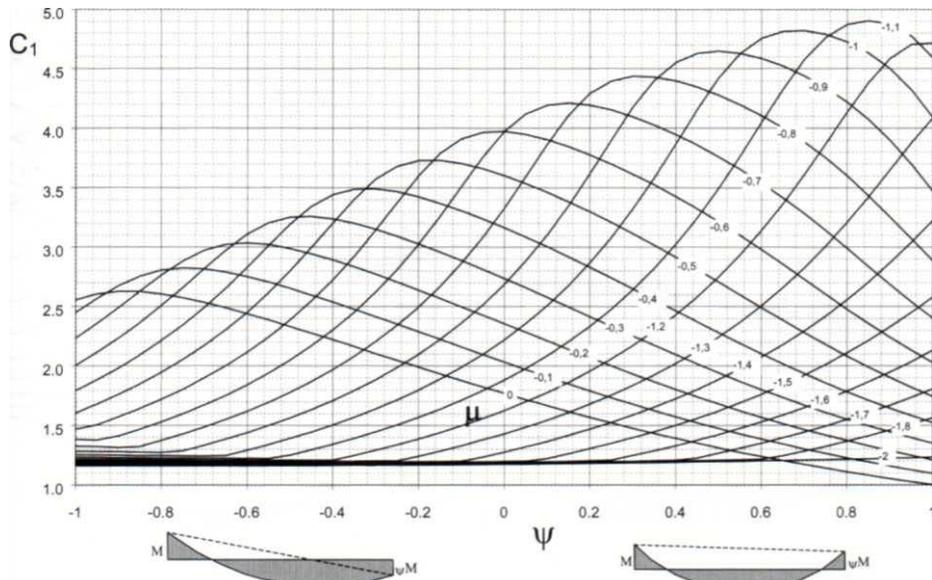


Рисунок 2.4.15, б – Значения коэффициента C_1 для элемента, загруженного концевыми моментами и равномерно распределённой нагрузкой: $\mu < 0$ [36]

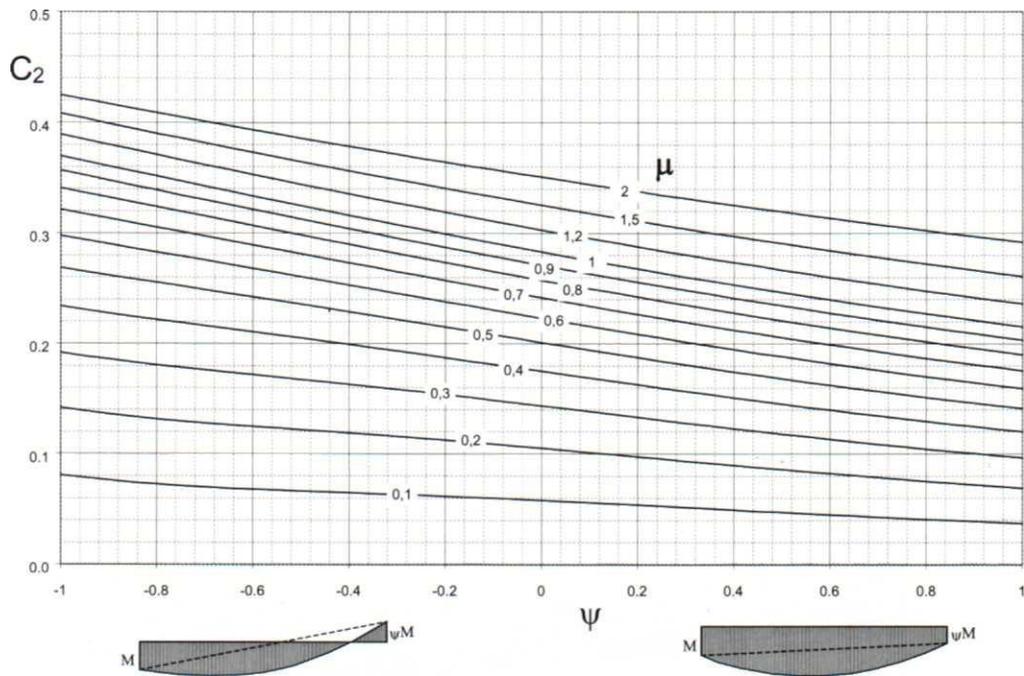


Рисунок 2.4.16, а – Значения коэффициента C_2 для элемента, нагруженного концевыми моментами и равномерно распределённой нагрузкой: $\mu > 0$ [36]

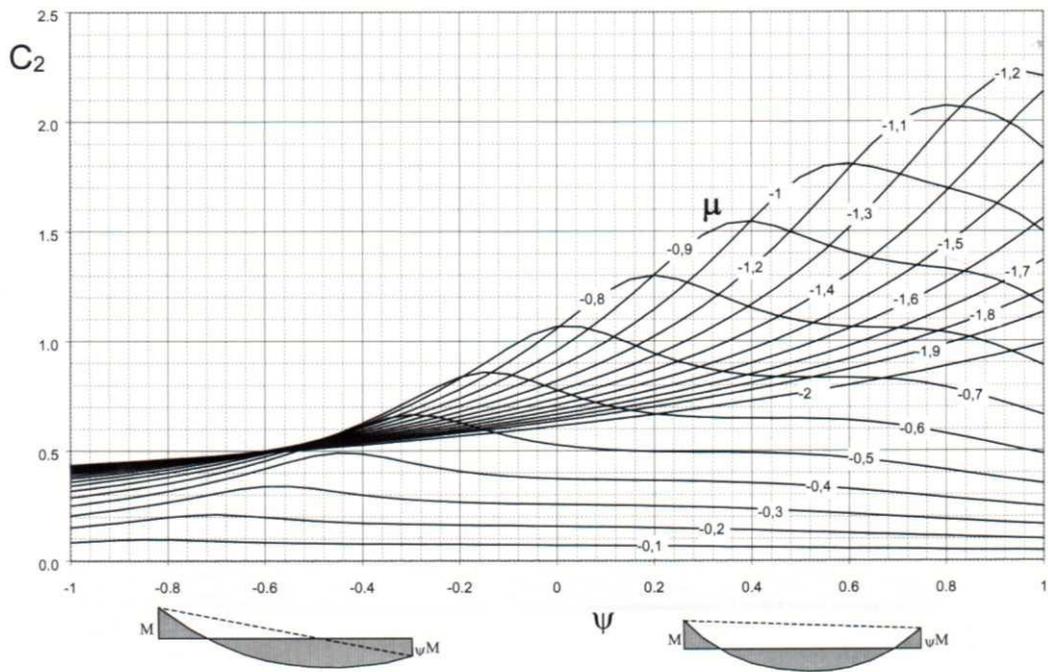


Рисунок 2.4.16, б – Значения коэффициента C_2 для элемента, нагруженного концевыми моментами и равномерно распределённой нагрузкой: $\mu < 0$ [36]

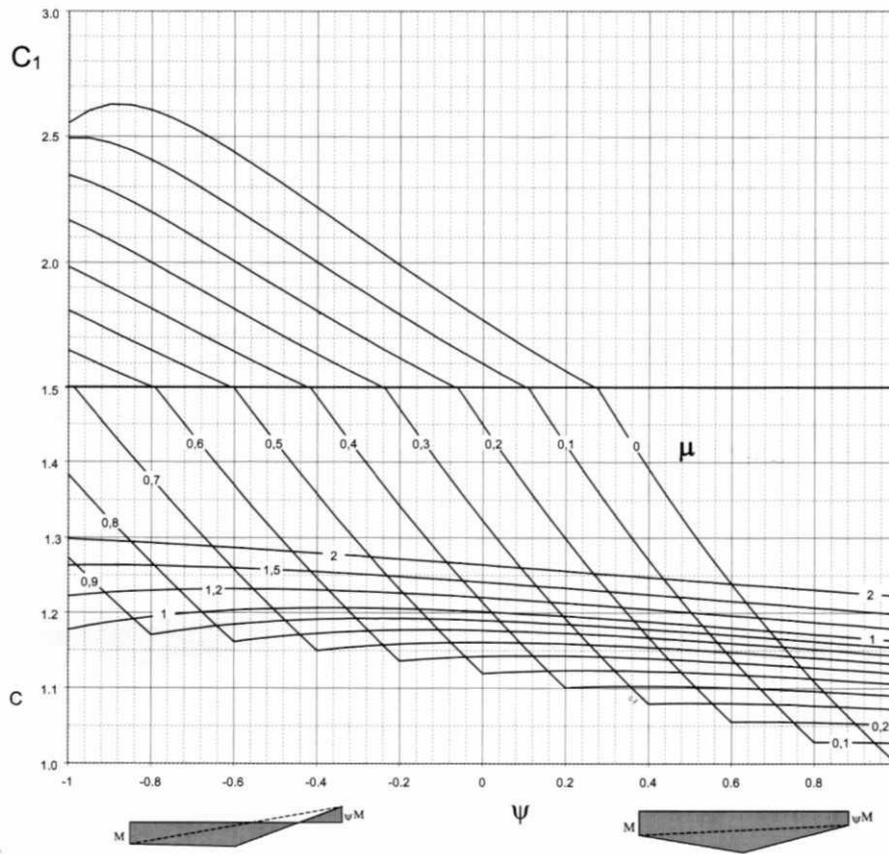


Рисунок 2.4.17, а – Значения коэффициента C_1 для элемента, нагруженного концевыми моментами и сосредоточенной нагрузкой: $\mu > 0$ [36]

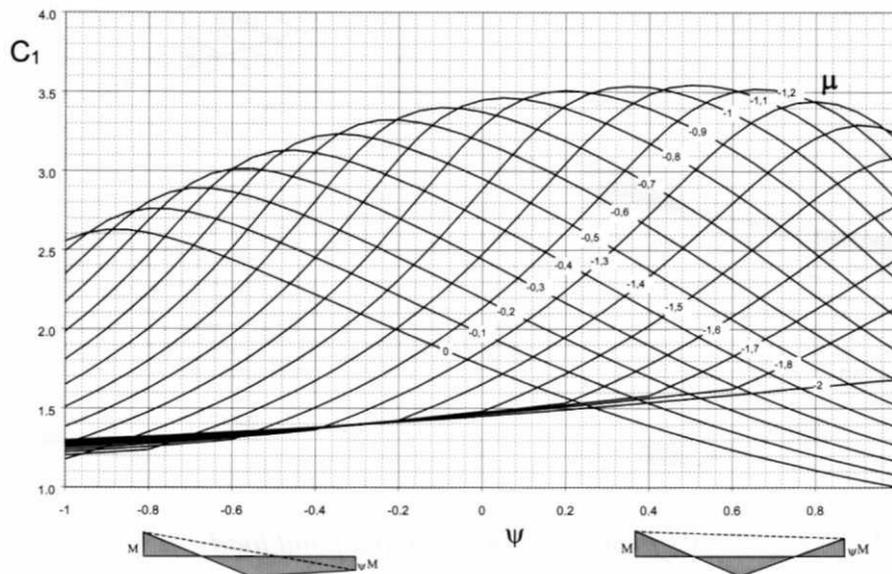


Рисунок 2.4.17, б – Значения коэффициента C_1 для элемента, нагруженного концевыми моментами и сосредоточенной нагрузкой: $\mu < 0$ [36]

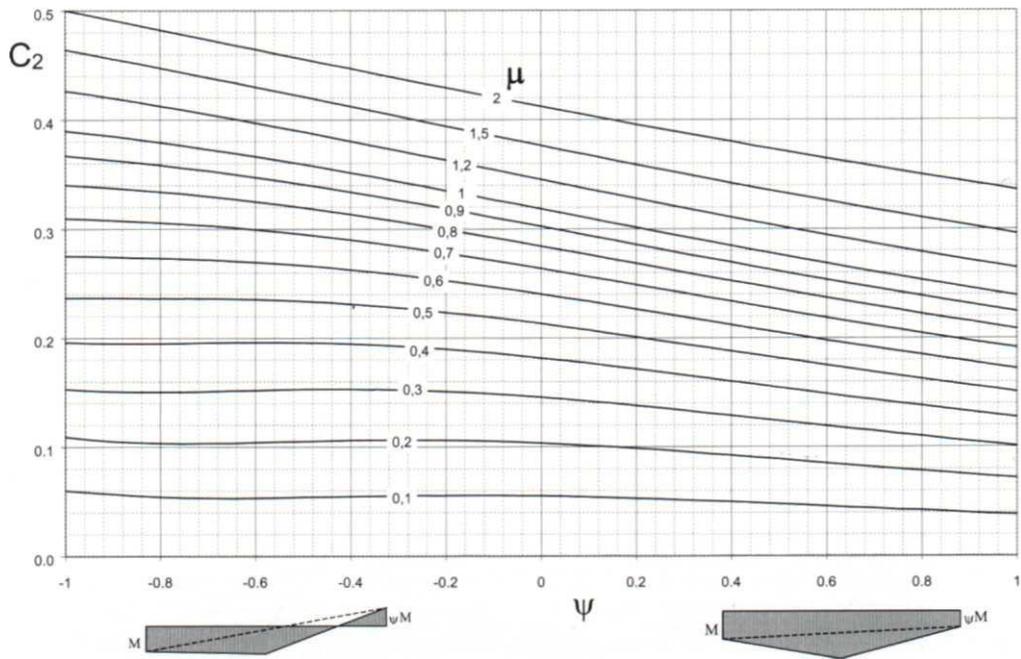


Рисунок 2.4.18, а – Значения коэффициента C_2 для элемента, нагруженного концевыми моментами и сосредоточенной нагрузкой: $\mu > 0$ [36]

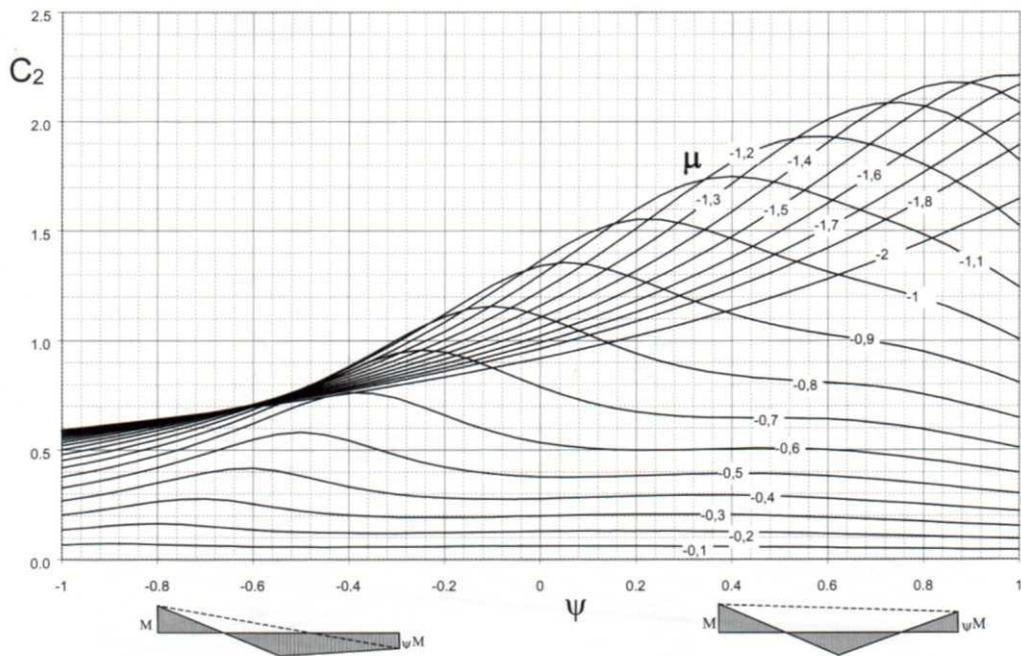


Рисунок 2.4.18, б – Значения коэффициента C_2 для элемента, нагруженного концевыми моментами и сосредоточенной нагрузкой: $\mu < 0$ [36]

Учитываемые варианты приложения поперечной нагрузки приведены на Рисунке 2.4.19.



Рисунок 2.4.19 – Варианты приложения поперечной нагрузки

Расчёт устойчивости сжатого с изгибом элемента также может быть выполнен с помощью неравенств (п.6.3.3 [5]):

для одинарных профилей (изгиб относительно оси $z - z$)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{LT} M_{zRk} / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{LT} M_{zRk} / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

для спаренных профилей (изгиб относительно оси $y - y$)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk} / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk} / \gamma_{M1}} \leq 1,$$

Коэффициенты взаимодействия $k_{yy}(k_{zz})$, $k_{zy}(k_{yz})$, учитывающие совместное действие усилий, определяются или по *Методу 1* (Приложение А [5]), или по *Методу 2* (Приложение В [5]) в зависимости от указаний Национального Приложения соответствующего государства. Кроме того, пользователь может сам назначить *Метод* расчёта коэффициентов взаимодействия *Настройки* → *Расчёт* → *ЕС3* → *Национальное Приложение* (п.3.1).

Метод 1

Для одинарных профилей:

$$k_{zz} = C_{m,z} C_{m,LT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}},$$

$$k_{yz} = C_{m,z} C_{m,LT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}},$$

Для спаренных профилей:

$$k_{yy} = C_{m,y} C_{m,LT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}},$$

$$k_{zy} = C_{m,y} C_{m,LT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}},$$

Метод 2 (для спаренных профилей)

Коэффициенты взаимодействия k_{yy} и k_{zy} вычисляются в соответствии с Таблицей В.2 [5]:

$$k_{yy} = C_{m,y} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{m,y} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right),$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{m,LT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,05}{(C_{m,LT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

Значения параметров $C_{m,y}$ и $C_{m,LT}$ вычисляются согласно Таблице В.3 [5] и приведены в Таблице 2.4.8.

Эпюра моментов	Границы	$C_{m,y}$ и $C_{m,LT}$	
		Распределённая нагрузка	Сосредоточенная нагрузка

	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq a_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8a_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8a_s \geq 0,4$
	$-1 \leq a_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8a_s \geq 0,4$	$-0,8a_s \geq 0,4$
	$0 \leq a_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05a_h$	$0,90 + 0,10a_h$
	$-1 \leq a_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05a_h$	$0,90 + 0,10a_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05a_h(1 + 2\psi)$	$0,90 + 0,1a_h(1 + 2\psi)$

2.4.5.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Сжатие с изгибом*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.4.20 (для одинарных профилей) или 2.4.21 (для спаренных профилей).

Сжатие с изгибом [EC3 CEN EC]

Наименование элемента: Элемент 7

Длина элемента: L = 2,28 м

Расчётное осевое усилие сжатия: N_{Ed} = 18,78 кН Поперечная сила: V_{Ed} = 6,4 кН

Момент для расчёта на устойчивость: M_{bEd} = 212 кН·см

Момент для расчёта на прочность: M_{sEd} = 212 кН·см Выполнить проверку прочности

Вводить расчётные длины: Вводить к-ты приведения длины:

Расчётная длина относительно оси у - у: $L_{cr,y}$ = 1 м Коэф-т приведения $k_y(L_{cr,y}/L)$ = 1

Расчётная длина относительно оси z - z: $L_{cr,z}$ = 1 м Коэф-т приведения $k_z(L_{cr,z}/L)$ = 1

Расчётная длина: крутильная форма: $L_{cr,T}$ = 2,28 м

Расчётная длина: плоская форма изгиба: $L_{cr,LT}$ = 2,28 м Устойчивость плоской формы изгиба

Потеря устойчивости плоской формы изгиба

Закрепление на концах

Коэффициент закрепления концов от поворота из плоскости изгиба: k = 1

Коэффициент закрепления опорных сечений от искажения: k_w = 1

Коэффициент C_1 = 1,35 В точке максим. момента (M_{bEd})

Уровень приложения нагрузки ... сжатие сжатие Коэффициент C_3 = 0,411

Коэффициент C_2 = 0,59

Эпюра моментов ...

Расч. момент (прочность) M_{sEd} Предельная гибкость λ_{Ed} = 200

Ослабление:

Сечение

Выбрать... Сечение элемента 7

Сталь

Группа стандартов: EN

Стандарт: EN 10147

Сталь: S350GD

f_y = 350 Н/мм² f_u = 420 Н/мм²

Комментарии

Рисунок 2.4.20 - Окно ввода данных для расчёта сжатых с изгибом элементов (одинарные профили)

В окне вводится наименование элемента или расчёта, геометрическая длина элемента L , расчётное осевое усилие сжатия N_{Ed} , расчётный изгибающий момент для расчёта на устойчивость M_{bEd} и, если отмечено поле *Выполнить проверку прочности*, то и расчётный изгибающий момент для расчёта на прочность M_{sEd} . В общем случае их значения могут быть различными. Расчёт на прочность выполняется на действие M_{sEd} , а для одинарных профилей с

неполностью эффективным сечениям на суммарное значение: $M_{sEd} + e_N N_{Ed}$. Для одинарных профилей необходимо указать в каком направлении действует изгибающий момент M_{sEd} : сжимает стенку или пояса (отгибы) (Рисунок 2.4.20). Также вводится поперечная сила V_{Ed} .

Если пользователь отметил необходимость *Производить проверку прочности сечений нетто* в *Настройках Расчёта* (п.3.1) и ввёл *Ослабление сечения* в окне ввода (п.2.2), то расчёт прочности производится для сечения нетто. Если пользователь не ввёл данные об отверстиях, то расчёт прочности производится для полного сечения (класс сечений 3) или для эффективного сечения (класс сечений 4). В случае, если поле *Производить проверку прочности сечений нетто* в *Настройках Расчёта* (п.3.1) не отмечено, а данные об ослаблении введены, то возникает противоречие, и проверка прочности не производится. Поэтому необходимо сбросить все данные об ослабленном сечении. Если поле *Выполнить проверку прочности* в окне ввода (Рисунки 2.4.20 и 2.4.21) не отмечено, то в любом случае расчёт на прочность не производится.

Сжатие с изгибом [EC3 CEN EC]

Наименование элемента: Элемент 5

Длина элемента L: 1,66 м

Расчётное осевое усилие сжатия N_{Ed} : 20,1 кН Поперечная сила V_{Ed} : 6,4 кН

Момент для расчёта на устойчивость M_{bEd} : 580,1 кН·см

Момент для расчёта на прочность M_{sEd} : 580,1 кН·см Выполнить проверку прочности

Вводить расчётные длины: Вводить к-ты приведения длин:

Расчётная длина относительно оси y - y $L_{cr,y}$: 1,66 м Коэф-т приведения $k_y (L_{cr,y} / L)$: 1

Расчётная длина относительно оси z - z $L_{cr,z}$: 1,66 м Коэф-т приведения $k_z (L_{cr,z} / L)$: 1

Расчётная длина: крутильная форма $L_{cr,T}$: 1,66 м

Расчётная длина: плоская форма изгиба $L_{cr,LT}$: 1,66 м Устойчивость плоской формы изгиба

Потеря устойчивости плоской формы изгиба

Закрепление на концах

Коэффициент закрепления концов от поворота из плоскости изгиба k: 1

Коэффициент закрепления опорных сечений от искажения k_w : 1

Коэффициент C_1 : 1,12 Коэффициент C_2 : 0,45

Уровень приложения нагрузки ...

Эпюра моментов ... Предельная гибкость λ_u : 200

Ослабление

Выбрать ... d: 18 мм a₁: 28 мм a₂: 94 мм

Сечение

Выбрать... Sgm 150-45-1,5 Delta Factory

Сталь

Группа стандартов: EN

Стандарт: EN 10147

Сталь: S350GD

f_y : 350 Н/мм² f_u : 420 Н/мм²

Комментарии

Вычислить Закрывать Справка

Рисунок 2.4.21 - Окно ввода данных для расчёта сжатых с изгибом элементов (спаренные профили)

Пользователь имеет возможность выбрать, каким образом определять расчётные длины для расчёта устойчивости плоской формы изгиба. Возможны два варианта: непосредственный ввод расчётных длин относительно осей y - y и z - z ($L_{cr,y}$ и $L_{cr,z}$) (Рисунок 2.4.21) и ввод коэффициентов приведения длины k_y и k_z (Рисунок 2.4.20) с дальнейшим программным вычислением расчётных длин ($L_{cr,y} = k_y L$, $L_{cr,z} = k_z L$).

Назначение сечения элемента и стали производится стандартным образом как это указано выше.

Также необходимо ввести *расчётную длину для расчёта по крутильной форме потери устойчивости* $L_{cr,T}$, и *расчётную длину для расчёта на потерю устойчивости плоской формы изгиба* $L_{cr,LT}$. Кроме того, должны быть введены другие параметры для расчёта устойчивости плоской формы изгиба: *коэффициент закрепления концов от поворота из плоскости изгиба* k , *коэффициент закрепления концов от искажения сечения (депланации)* k_w . Некоторые рекомендации по назначению величин данных коэффициентов приведены в п.2.4.4.1. Также вводятся: коэффициент, зависящий от формы эпюры изгибающих моментов по длине элемента C_1 , коэффициент, зависящий от уровня приложения поперечной нагрузки относительно центра изгиба сечения C_2 и несимметричности поперечного сечения элемента C_3 (только для одинарных профилей). Справочный материал по назначению величин данных коэффициентов приведён в п.2.4.4.1.

Следует определить уровень приложения нагрузки по отношению к центру изгиба сечения, что является важным для вычисления упругого критического момента потери устойчивости плоской формы изгиба M_{cr} (п.2.4.4.1). Для этого выбирается кнопка *Уровень приложения нагрузки...*, по которой открывается окно, показанное на Рисунке 2.4.22. Его вид зависит от того, какое сечение рассматривается: одинарное или спаренное.

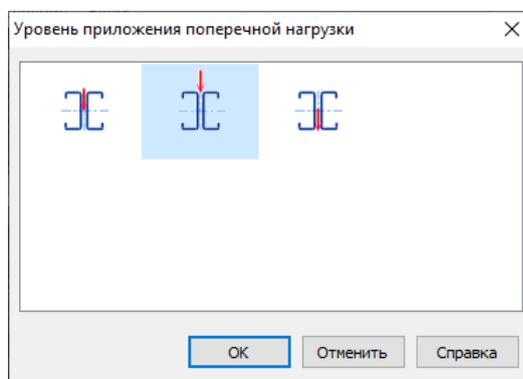


Рисунок 2.4.22 - Окно назначения уровня приложения поперечной нагрузки

Также для одинарных профилей необходимо определить направление действия изгибающего момента для расчёта на устойчивость в поперечном сечении с максимальным значением M_{bEd} : момент может сжимать стенку или сжимать пояса (отгибы) (Рисунок 2.4.20).

Для вычисления коэффициента $C_{m,z(y)0}$ перехода от реального распределения изгибающего момента по длине элемента к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов, который определяется по Таблице А.2 [5], необходимо выбрать кнопку *Этюра моментов...*, по которой в появившемся окне (Рисунок 2.4.23) выбрать наиболее подходящий вариант.

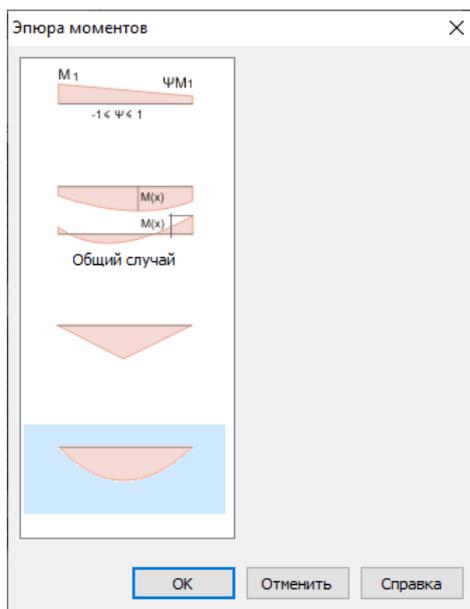


Рисунок 2.4.23 – Окно выбора характера распределения моментов по длине элемента

При выборе общего случая, пользователю предлагается ввести значение максимального изгибающего момента и максимального по длине элемента прогиба. Последний может быть получен, например, в результате расчёта методом КЭ стержневой системы, в состав которой входит рассматриваемый элемент.

2.4.5.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта представляются аналогичным образом, как это изложено в п.2.1 и показано в предыдущих расчётах. На Рисунках 2.4.24 – 2.4.28 приведены некоторые окна вывода результатов. На Рисунках 2.4.29 – 2.4.34 представлен вид документа, полученного после экспорта результатов в Microsoft Excel[®] и последующей распечатки.

Результаты

Общие данные | Характеристики полного сечения | Характеристики эффективного сечения | Характеристики эффективного сечения (изгиб) | Характеристики

Элемент 5

Длина элемента	L	1,660 м
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН
Расчётный изгибающий момент (расчёт на устойчивость)	M_{bEd}	580,10 кН·см
Расчётный изгибающий момент (расчёт на прочность)	M_{sEd}	580,10 кН·см
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,660 м
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,660 м
Расчётная длина: кручение	$L_{cr,T}$	1,660 м
Параметры для расчёта на устойчивость плоской формы изгиба		
Расчётная длина: устойчивость плоской формы изгиба	$L_{cr,LT}$	1,660 м
Коэффициент закрепления концов от поворота из плоскости изгиба	k	1
Коэффициент закрепления опорных сечений от искажения сечения	k_w	1
Коэффициент	C_1	1,120
Коэффициент	C_2	0,450
Уровень приложения поперечной нагрузки		
		
Вид эпюры моментов		
		
Предельная гибкость	λ_u	200,0
h	150,0 мм	
t	1,5 мм	
b	45,0 мм	
h1	68,0 мм	
h2	40,0 мм	
d	16,0 мм	
c	12,0 мм	
r	3,0 мм	
t _{coat}	0,04 мм	
S	6,0 мм	
Стенка		
Диаметр отверстия	d 14,0 мм	
	a ₁ 26,0 мм	

Рисунок 2.4.24 – Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Общие данные

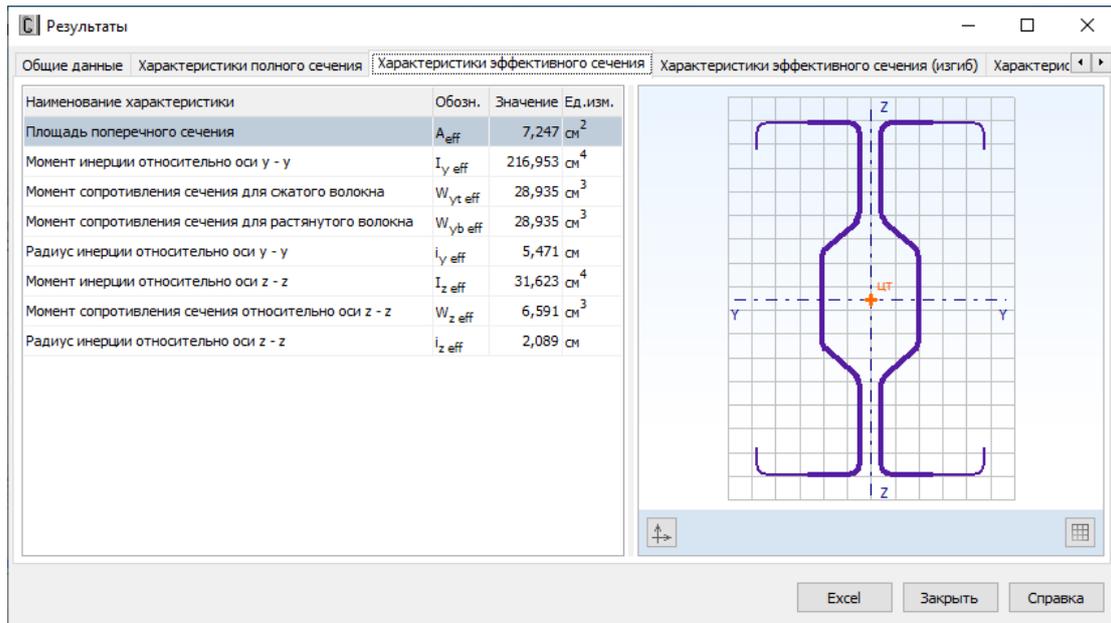


Рисунок 2.4.25 – Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Характеристики эффективного сечения (равномерное сжатие)

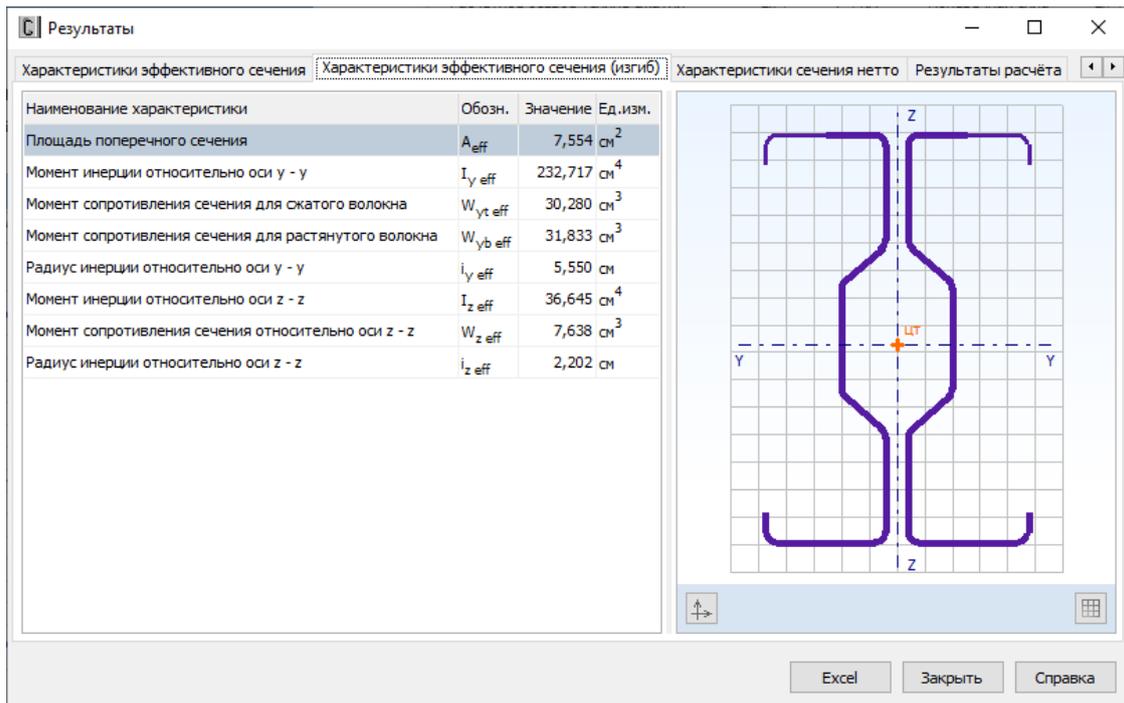


Рисунок 2.4.26 – Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Характеристики эффективного сечения (изгиб)

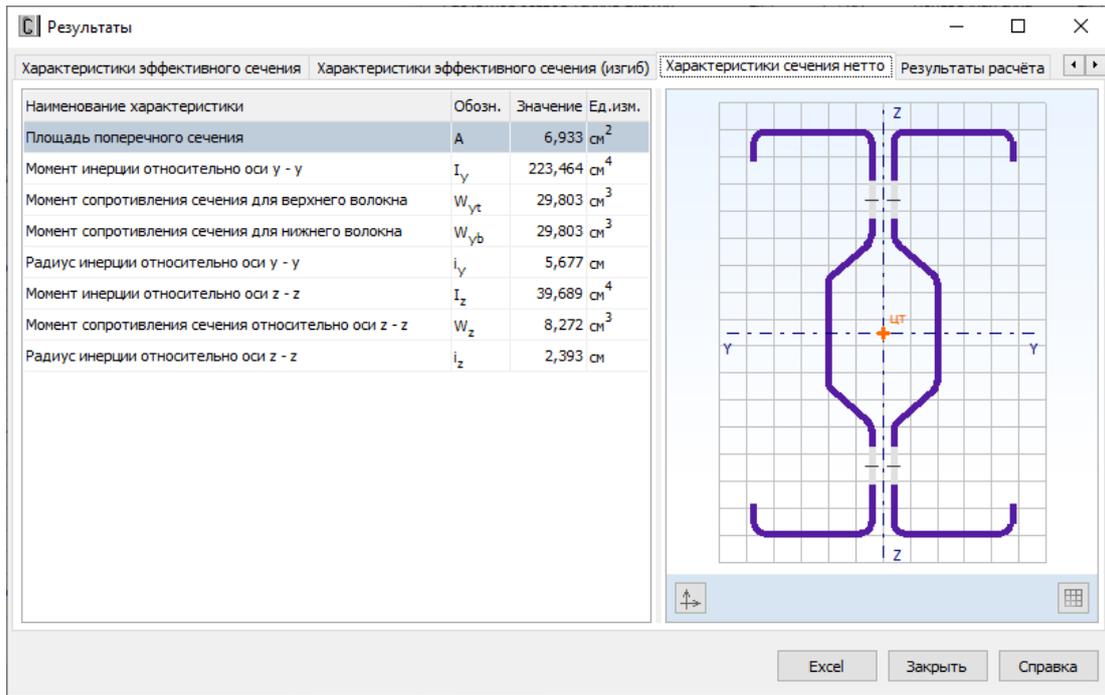


Рисунок 2.4.27 – Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Характеристики сечения нетто

Результаты			
Характеристики эффективного сечения	Характеристики эффективного сечения (изгиб)	Характеристики сечения нетто	Результаты расчёта
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd,net}} + \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{M_{c,Rd,net}} \leq 1$	0,799 < 1	✓ 6.1.9
Расчёт на поперечную силу	$V_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1$	0,130 < 1	✓ 6.1.5
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{yRk}/\gamma_{M1}} \leq 1$	0,908 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_x N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{xy} \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{yRk}/\gamma_{M1}} \leq 1$	0,927 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1$	0,998 < 1	✓ 6.2.5
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	73,2 < 200	✓
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)			
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм. Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН	
Расчётный изгибающий момент	M_{Ed}	580,10 кН·см	
Эксцентриситет	e_N	0,000 см	6.1.3
Геометрическая длина элемента	L	1,660 м	
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,660 м	
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,660 м	
Условная гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,372	
Условная гибкость относительно оси z - z	$\bar{\lambda}_z$	0,920	
Редукционный коэффициент при изгибной форме потери устойчивости	χ	0,648	6.3.1 EN 1993-1-1
Площадь полного сечения	A	7,750 см ²	
Площадь эффективного сечения (сжатие)	A_{eff}	7,247 см ²	
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²	
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000	
Нормативное значение сопротивления сжатию	N_{Rk}	253,66 кН	
Редукционный коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	0,711	6.3.2 EN 1993-1-1
Расчётный момент сопротивления сечения	W	30,280 см ³	
Нормативное значение сопротивления изгибающему моменту	M_{Rk}	1059,80 кН·см	
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1	
Коэффициент взаимодействия	k	1,045	Annex A EN 1993-1-1
<input type="button" value="Excel"/> <input type="button" value="Закрыть"/> <input type="button" value="Справка"/>			

Результаты			
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd,net}} + \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{M_{c,Rd,net}} \leq 1$	0,799 < 1	✓ 6.1.9
Расчёт на поперечную силу	$V_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1$	0,130 < 1	✓ 6.1.5
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{yRk}/\gamma_{M1}} \leq 1$	0,908 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{yRk}/\gamma_{M1}} \leq 1$	0,927 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1$	0,998 < 1	✓ 6.2.5
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	73,2 < 200	✓

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (п.6.2.5)			
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм. Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН	
Расчётный изгибающий момент	M_{Ed}	580,10 кН·см	
Эксцентриситет	e_N	0,000 см	
Геометрическая длина элемента	L	1,660 м	
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,660 м	
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,660 м	
Условная гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,372	
Условная гибкость относительно оси z - z	$\bar{\lambda}_z$	0,920	
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²	
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000	
Расчётная несущая способность по изгибной форме потери устойчивости относительно оси y - y	$N_{yb,Rd}$	243,49 кН	
Расчётная несущая способность по изгибной форме потери устойчивости относительно оси z - z	$N_{zb,Rd}$	164,37 кН	
Расчётная несущая способность по крутильной/изгибно-крутильной форме потери устойчивости	$N_{bTF,Rd}$	189,82 кН	
Расчётная несущая способность сжатого элемента (по изгибной, крутильной или изгибно-крутильной форме)	$N_{b,Rd}$	164,37 кН	6.2.5
Упругий критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба	M_{cr}	1568,60 кН·см	
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,822	
Редукционный коэффициент	χ_{LT}	0,711	6.3.2 EN 1993-1-1
Расчётный момент сопротивления сечения	W	30,280 см ³	
Расчётная несущая способность элемента при изгибе	$M_{b,Rd}$	753,31 кН·см	6.2.4 EN 1993-1-3, 6.3.2 EN 1993-1-1

Рисунок 2.4.28 – Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Результаты расчёта

 Delta Engineering Software http://www.CFSteel.ru mailto:deltaing@mail.ru	CFSteel 4.3		страница 1
	User		
	EC3	CEN EC	14.12.2021
Элемент 5			
Длина элемента	L	1,660 м	
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН	
Расчётный изгибающий момент (расчёт на устойчивость)	M_{oEd}	580,10 кН·см	
Расчётный изгибающий момент (расчёт на прочность)	M_{sEd}	580,10 кН·см	
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,660 м	
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,660 м	
Расчётная длина: кручение	$L_{cr,T}$	1,660 м	
Параметры для расчёта на устойчивость плоской формы изгиба			
Расчётная длина: устойчивость плоской формы изгиба	$L_{cr,LT}$	1,660 м	
Коэффициент закрепления концов от поворота из плоскости изгиба	k	1	
Коэффициент закрепления опорных сечений от искажения сечения	k_w	1	
Коэффициент	C_1	1,120	
Коэффициент	C_2	0,450	
Уровень приложения поперечной нагрузки			
Вид эпюры моментов			
Предельная гибкость	λ_u	200,0	
Сечение			
Sgm 150-45-1,5			
Delta Factory			
	h	150,0 мм	
	t	1,5 мм	
	b	45,0 мм	
	h_1	68,0 мм	
	h_2	40,0 мм	
	d	16,0 мм	
	c	12,0 мм	
	r	3,0 мм	
	t_{coat}	0,04 мм	
	S	6,0 мм	
Ослабление сечения отверстиями			
	Стенка		
Диаметр отверстия	d	14,0 мм	
	a_1	26,0 мм	
	a_2	98,0 мм	
Сталь			
Группа стандартов	EN		
Стандарт	EN 10147		
Сталь	S350GD		
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²	
Предел прочности	f_u	420 Н/мм ²	
Модуль упругости	E	210000 Н/мм ²	
Коэффициент Пуассона	ν	0,3	

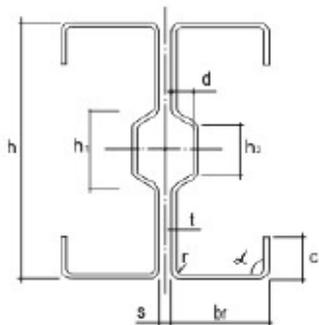
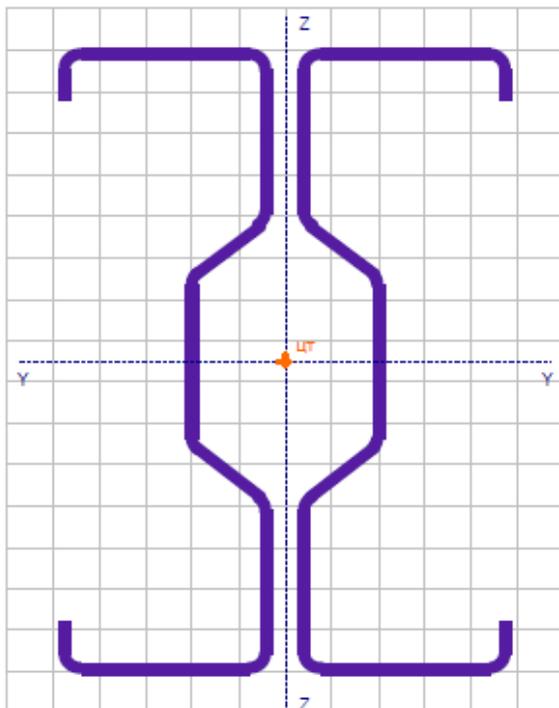


Рисунок 2.4.29 – Общие данные



Элемент 5

Sgm 150-45-1,5 Delta Factory



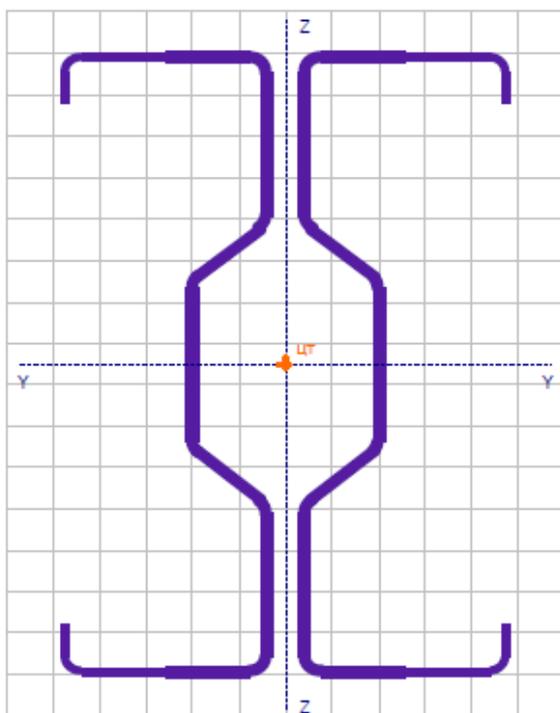
Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A	7,750 см ²
Момент инерции относительно оси y - y	I _y	243,228 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси y - y	W _y	32,439 см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	i _y	5,602 см
Момент инерции относительно оси z - z	I _z	39,805 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси z - z	W _z	8,296 см ³
Радиус инерции относительно оси z - z	i _z	2,266 см
Момент инерции при свободном кручении	I _t	0,054878 см ⁴
Секториальный момент инерции	I _w	2068,998 см ⁶
Вес одного погонного метра профиля		6,38 кг/м

Рисунок 2.4.30 – Характеристики полного сечения



Элемент 5

Sgm 150-45-1,5 Delta Factory



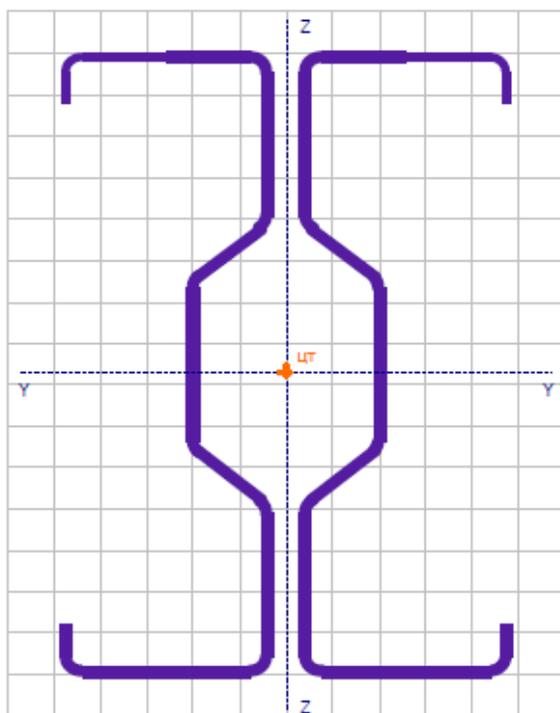
Наименование характеристики	Обозн.	Значение	Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A_{eff}	7,247	см ²
Момент инерции относительно оси y - y	$I_{y\,eff}$	216,953	см ⁴
Момент сопротивления сечения для сжатого волокна	$W_{yt\,eff}$	28,935	см ³
Момент сопротивления сечения для растянутого волокна	$W_{yb\,eff}$	28,935	см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	$i_{y\,eff}$	5,471	см
Момент инерции относительно оси z - z	$I_{z\,eff}$	31,623	см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси z - z	$W_{z\,eff}$	6,591	см ³
Радиус инерции относительно оси z - z	$i_{z\,eff}$	2,089	см

Рисунок 2.4.31 – Характеристики эффективного сечения
 (равномерное сжатие)



Элемент 5

Sgm 150-45-1,5 Delta Factory



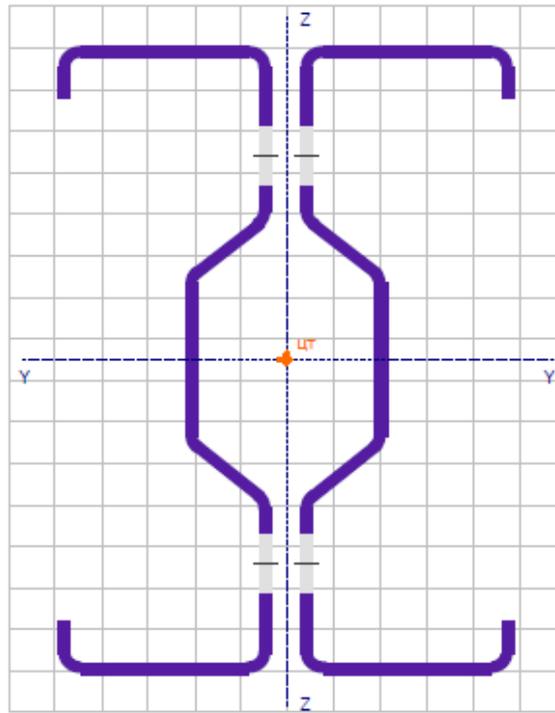
Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A_{eff}	7,554 см ²
Момент инерции относительно оси у - у	$I_{y\,eff}$	232,717 см ⁴
Момент сопротивления сечения для сжатого волокна	$W_{yt\,eff}$	30,280 см ³
Момент сопротивления сечения для растянутого волокна	$W_{yb\,eff}$	31,833 см ³
Радиус инерции относительно оси у - у	$i_{y\,eff}$	5,550 см
Момент инерции относительно оси z - z	$I_{z\,eff}$	36,645 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси z - z	$W_{z\,eff}$	7,638 см ³
Радиус инерции относительно оси z - z	$i_{z\,eff}$	2,202 см

Рисунок 2.4.32 – Характеристики эффективного сечения (изгиб)



Элемент 5

Sgm 150-45-1,5 Delta Factory



Наименование характеристики	Обозн.	Значение Ед.изм.
Площадь поперечного сечения	A	6,933 см ²
Момент инерции относительно оси y - y	I_y	223,464 см ⁴
Момент сопротивления сечения для верхнего волокна	W_{yt}	29,803 см ³
Момент сопротивления сечения для нижнего волокна	W_{yb}	29,803 см ³
Радиус инерции относительно оси y - y	i_y	5,677 см
Момент инерции относительно оси z - z	I_z	39,689 см ⁴
Момент сопротивления сечения относительно оси z - z	W_z	8,272 см ³
Радиус инерции относительно оси z - z	i_z	2,393 см

Рисунок 2.4.33 – Характеристики сечения нетто



Элемент 5

Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом	$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd,net}} + \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{M_{c,Rd,net}} \leq 1$	0,799 < 1	✓ 6.1.9
Расчёт на поперечную силу	$V_{Ed}/V_{d,Rd} \leq 1$	0,130 < 1	✓ 6.1.5
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{yRk} / \gamma_{M1}} \leq 1$	0,908 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)	$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{Ed} + \Delta M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{yRk} / \gamma_{M1}} \leq 1$	0,927 < 1	✓ 6.3.3 EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия	$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{d,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{d,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1$	0,998 < 1	✓ 6.2.5
Проверка гибкости элемента	$\lambda_{max} \leq \lambda_u$	73,2 < 200	✓

Расчёт на прочность сечения нетто при сжатии с изгибом

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН		
Площадь сечения нетто	A_n	6,933 см ²		
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²		
Частный коэффициент	γ_{M2}	1,250		
Расчётная несущая способность сечения нетто при центральном сжатии	$N_{c,Rd,net}$	194,12 кН		
Расчётный изгибающий момент (расчёт на прочность)	$M_{s,Ed}$	580,10 кН·см		
Несущая способность поперечного сечения нетто при изгибе	$M_{c,Rd,net}$	834,49 кН·см		6.1.9

Расчёт на поперечную силу

Рисунок 2.4.34,а – Результаты расчёта (начало)

Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётная поперечная сила	V_{Ed}	6,40 кН		
Расчётная высота стенки	s_w	148,5 мм		6.1.5
Расчётная толщина	t	1,5 мм		
Условная гибкость стенки	λ_w	1,437		6.1.5
Расчётное сопротивление стали сдвигу	f_{bv}	114 Н/мм ²		6.1.5
Расчётная несущая способность сечения от действия поперечной силы	$V_{d,Rd}$	49,26 кН		(6.8)
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.61)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН		
Расчётный изгибающий момент	M_{Ed}	580,10 кН·см		
Эксцентриситет	e_N	0,000 см		6.1.3
Геометрическая длина элемента	L	1,660 м		
Расчётная длина относительно оси $y - y$	$L_{cr,y}$	1,660 м		
Расчётная длина относительно оси $z - z$	$L_{cr,z}$	1,660 м		
Условная гибкость относительно оси $y - y$	λ_y	0,372		
Условная гибкость относительно оси $z - z$	λ_z	0,920		
Редукционный коэффициент при изгибной форме потери устойчивости	χ	0,960		6.3.1 EN 1993-1-1
Площадь полного сечения	A	7,750 см ²		
Площадь эффективного сечения (сжатие)	A_{eff}	7,247 см ²		
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²		
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000		
Нормативное значение сопротивления сжатию	N_{Rk}	253,66 кН		
Редукционный коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	0,711		6.3.2 EN 1993-1-1
Расчётный момент сопротивления сечения	W	30,280 см ³		

Рисунок 2.4.34,б – Результаты расчёта (продолжение)

Нормативное значение сопротивления изгибающему моменту	M_{Rk}	1059,80 кН·см		
Метод определения коэффициентов взаимодействия		1		
Коэффициент взаимодействия	k	1,071		Annex A EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (6.62)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН		
Расчётный изгибающий момент	M_{Ed}	580,10 кН·см		
Эксцентриситет	e_N	0,000 см		6.1.3
Геометрическая длина элемента	L	1,660 м		
Расчётная длина относительно оси $y - y$	$L_{cr,y}$	1,660 м		
Расчётная длина относительно оси $z - z$	$L_{cr,z}$	1,660 м		
Условная гибкость относительно оси $y - y$	λ_y	0,372		
Условная гибкость относительно оси $z - z$	λ_z	0,920		
Редукционный коэффициент при изгибной форме потери устойчивости	χ	0,648		6.3.1 EN 1993-1-1
Площадь полного сечения	A	7,750 см ²		
Площадь эффективного сечения (сжатие)	A_{eff}	7,247 см ²		
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²		
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000		
Нормативное значение сопротивления сжатию	N_{Rk}	253,66 кН		
Редукционный коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба	χ_{LT}	0,711		6.3.2 EN 1993-1-1
Расчётный момент сопротивления сечения	W	30,280 см ³		
Нормативное значение сопротивления изгибающему моменту	M_{Rk}	1059,80 кН·см		

Рисунок 2.4.34,в – Результаты расчёта (продолжение)

Метод определения коэффициентов взаимодействия		1		
Коэффициент взаимодействия	k	1,045		Annex A EN 1993-1-1
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (п.6.2.5)				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Расчётное осевое усилие сжатия	N_{Ed}	20,10 кН		
Расчётный изгибающий момент	M_{Ed}	580,10 кН·см		
Эксцентриситет	e_N	0,000 см		
Геометрическая длина элемента	L	1,660 м		
Расчётная длина относительно оси y - y	$L_{cr,y}$	1,660 м		
Расчётная длина относительно оси z - z	$L_{cr,z}$	1,660 м		
Условная гибкость относительно оси y - y	$\bar{\lambda}_y$	0,372		
Условная гибкость относительно оси z - z	$\bar{\lambda}_z$	0,920		
Предел текучести	f_y	350 Н/мм ²		
Частный коэффициент	γ_{M1}	1,000		
Расчётная несущая способность по изгибной форме потери устойчивости относительно оси y - y	$N_{y0,Rd}$	243,49 кН		
Расчётная несущая способность по изгибной форме потери устойчивости относительно оси z - z	$N_{z0,Rd}$	164,37 кН		
Расчётная несущая способность по	$N_{DTF,Rd}$	189,82 кН		
Расчётная несущая способность сжатого элемента (по изгибной, крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости)	$N_{b,Rd}$	164,37 кН		6.2.5
Упругий критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба	M_{cr}	1568,60 кН·см		

Рисунок 2.4.34,г – Результаты расчёта (продолжение)

Элементы				
Условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,822		
Редукционный коэффициент	χ_{LT}	0,711		6.3.2 EN 1993-1-1
Расчётный момент сопротивления сечения	W	30,280 см ³		
Расчётная несущая способность элемента при изгибе	$M_{b,Rd}$	753,31 кН·см		6.2.4 EN 1993-1-3, 6.3.2 EN 1993-1-1
Проверка гибкости элемента				
Параметр	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула) EN 1993-1-3
Максимальная гибкость	λ_{max}	73,2		
Предельная гибкость	λ_c	200,0		

Рисунок 2.4.34,д – Результаты расчёта (окончание)

2.5. Расчёт по North American Specification AISI S100

2.5.1. Растянутые элементы

2.5.1.1. Методика расчёта

По нормам AISI S100 расчёт в зависимости от выбора пользователя производится по Методу Допускаемой Прочности (ASD) или Методу Коэффициентов (LRFD). В названии последнего присутствуют коэффициенты: Load Factor – коэффициент, учитывающий отклонения номинальной нагрузки от действительной, неопределённости в расчётной модели и сочетание нагрузок; Resistance Factor - коэффициент, учитывающий отклонения действительной прочности от номинальной, а также характер и последствия исчерпания несущей способности.

По длине элемента в сечениях, находящихся вне прикреплений, выполняются расчёты:

- предотвращение чрезмерных удлинений элемента;
- предотвращение разрушения от разрыва по ослабленному сечению (если ослабление имеет место);
- проверка гибкости элемента.

В месте прикрепления элемента расчёт выполняется по следующим критериям:

- предотвращение разрушения от разрыва по ослабленному отверстию для болтов сечению;
- предотвращение смятия болтами присоединяемых частей рассчитываемого элемента;
- предотвращение вырыва части элемента в месте прикрепления.

В месте прикрепления элемента производятся только расчёты, связанные с несущей способностью рассматриваемого элемента. Полного расчёта соединения не производится. Пользователь должен выполнять расчёт соединения отдельно.

В общем виде расчёт выполняется в форме неравенства (B3 [25])

ASD:

$$P \leq P_{tn} / \Omega, \quad (2.5.1,a)$$

LRFD:

$$P \leq \phi P_{tn}, \quad (2.5.1,b)$$

где P – требуемая несущая способность; P_m – номинальная несущая способность при растяжении; Ω – коэффициент безопасности; ϕ – коэффициент сопротивления; P_m/Ω – допускаемая несущая способность; ϕP_m – расчётная несущая способность.

Значение требуемой несущей способности P , вводимое пользователем, должно соответствовать правилам его определения в зависимости от метода расчёта. Для метода ASD оно должно определяться на основе номинальных значений нагрузок с учётом их сочетаний. Для метода LRFD P должно определяться на основе номинальных значений нагрузок, домноженных на соответствующие коэффициенты по нагрузке, с учётом сочетаний нагрузок. P_m вычисляется, а Ω и ϕ назначаются, в соответствии с указаниями AISI S100 [25] в зависимости от критерия расчёта растянутого элемента.

Номинальная несущая способность элемента по критерию предотвращения чрезмерных удлинений определяется для полного сечения в месте, вне прикрепления (D2 [25])

$$P_{tgn} = A_g F_y, \quad (2.5.2)$$

$\Omega = 1,67$ (ASD)

$\phi = 0,90$ (LRFD)

$\phi = 0,90$ (LSD),

где A_g – площадь полного поперечного сечения; F_y – предел текучести стали.

Номинальная несущая способность элемента по критерию предотвращения разрушения по ослабленному сечению (если такое имеет место) вне прикрепления вычисляется (D3 [25])

$$P_{tnn} = A_n F_u, \quad (2.5.3)$$

$\Omega = 2,00$ (ASD)

$\phi = 0,75$ (LRFD)

$\phi = 0,75$ (LSD),

При этом считается, что ослабление симметрично относительно продольной оси элемента.

Проверка гибкости элемента производится в соответствии с неравенством

$$\lambda_{max} \leq \lambda_u, \quad (2.5.4)$$

где λ_{max} – максимальная гибкость элемента, определяемая как максимальное значение гибкостей в двух плоскостях $\lambda_{max} = \max(\lambda_x, \lambda_y)$; λ_u – предельная гибкость, задаваемая пользователем; $\lambda_x = K_{tx} L / i_x$, $\lambda_y = K_{ty} L / i_y$; K_{tx} и K_{ty} – коэффициенты приведения длины для расчёта гибкости при растяжении относительно соответствующих осей (приняты $K_{tx} = K_{ty} = 1$); i_x и i_y – радиусы инерции сечения относительно соответствующих осей.

Номинальная несущая способность по разрыву в ослабленном отверстиями для болтов сечении в месте прикрепления элемента вычисляется (J6.2) [25]

$$P_{trn} = F_u A_e, \quad (2.5.5)$$

$\Omega = 2,22$ (ASD)

$\phi = 0,65$ (LRFD)

$\phi = 0,75$ (LSD)

где F_u – предел прочности стали; A_e – эффективная площадь сечения нетто.

Эффективная площадь сечения нетто определяется

$$A_e = U_{sl} A_n, \quad (2.5.6)$$

где U_{sl} – коэффициент, учитывающий эффект сдвигового запаздывания (Таблица J6.2-1 [25]).

Если усилие растяжения в месте прикрепления элемента передаётся через все элементы его поперечного сечения (и стенка и пояса), то $U=1$. Если усилие передаётся через часть сечения (стенка или пояса), то при количестве поперечных рядов болтов в месте прикрепления два и более:

$$U_{sl} = \frac{1}{1,1 + \frac{b_f}{b_w} + \frac{x}{2b_f} + \frac{x}{L}} \quad (2.5.7)$$

где x – расстояние между плоскостью соприкосновения рассчитываемого элемента со смежным элементом (например, узловой фасонкой) до центра тяжести сечения (Рисунок 2.5.1); L – длина прикрепления вдоль усилия, равная расстоянию между крайними отверстиями или поперечными рядами отверстий; b_f – ширина не прикрепляемой части сечения; b_w – ширина прикрепляемой части сечения. При количестве поперечных рядов болтов, равном единице, расчёт по разрыву в ослабленном отверстиями для болтов сечении в месте прикрепления элемента через часть сечения не производится так как в нормах указания для данного случая отсутствуют.

A_n – площадь нетто ослабленного отверстиями для болтов сечения.

В нормах AISC [24] при вычислении площади нетто рекомендуется увеличивать номинальный диаметр отверстия на 2 мм. В нормах AISI [25] такого требования нет. Поэтому в программе пользователю предоставляется выбор: увеличивать диаметр отверстия или нет (*Настройки* → *Расчёт* → *AISI*).

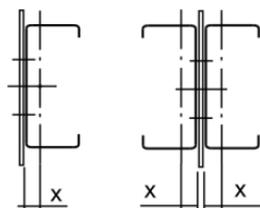


Рисунок 2.5.1 - Определение расстояния x

Номинальная несущая способность элемента толщиной до 4,76 мм по смятию в месте прикрепления (J3.3.1) [25]

$$P_{tbn} = C m_f d_b t F_u n_b, \quad (2.5.8)$$

$\Omega = 2,50$ (ASD)

$\phi = 0,60$ (LRFD)

$\phi = 0,50$ (LSD),

где C – коэффициент смятия, зависящий от отношения диаметра болта к толщине стали и определяемый по Таблице J3.3.1-1 [25]; m_f – коэффициент, зависящий от наличия или отсутствия шайб в соединении и определяемый по Таблице J3.3.1-2 [25]; n_b – количество болтов в соединении.

Для спаренных профилей в (2.5.8) принимается удвоенная несущая способность.

Номинальная несущая способность элемента по критерию вырыва его части в месте прикрепления при толщине до 4,76 мм (J6.3 [25]) вычисляется как меньшее из:

$$P_{tbsn} = 0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}, \quad (2.5.9,a)$$

$$P_{tbsn} = 0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}, \quad (2.5.9,b)$$

$\Omega = 2,22$ (ASD)

$\phi = 0,65$ (LRFD)

$\phi = 0,75$ (LSD),

где A_{gv} – площадь брутто, подвергаясь сдвигу (параллельная действующему усилию) (рисунок 2.5.2,б); A_{nv} – площадь нетто, подвергаясь сдвигу (параллельная действующему усилию) (рисунок 2.5.2,а); A_{nt} – площадь нетто, подвергаясь растяжению (перпендикулярная действующему усилию); U_{bs} – коэффициент, учитывающий эффект сдвигового запаздывания (в соответствии с п. J6.3 [25] $U_{bs} = 1$).

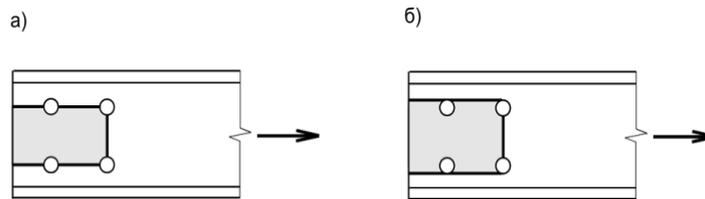


Рисунок 2.5.2 – Определение площадок сдвига: а – площадка нетто, б – площадка брутто

Расположение болтов в прикреплении должно отвечать требованиям п.3.1 и п.3.2 [25].

2.5.1.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Растяжение*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.5.3.

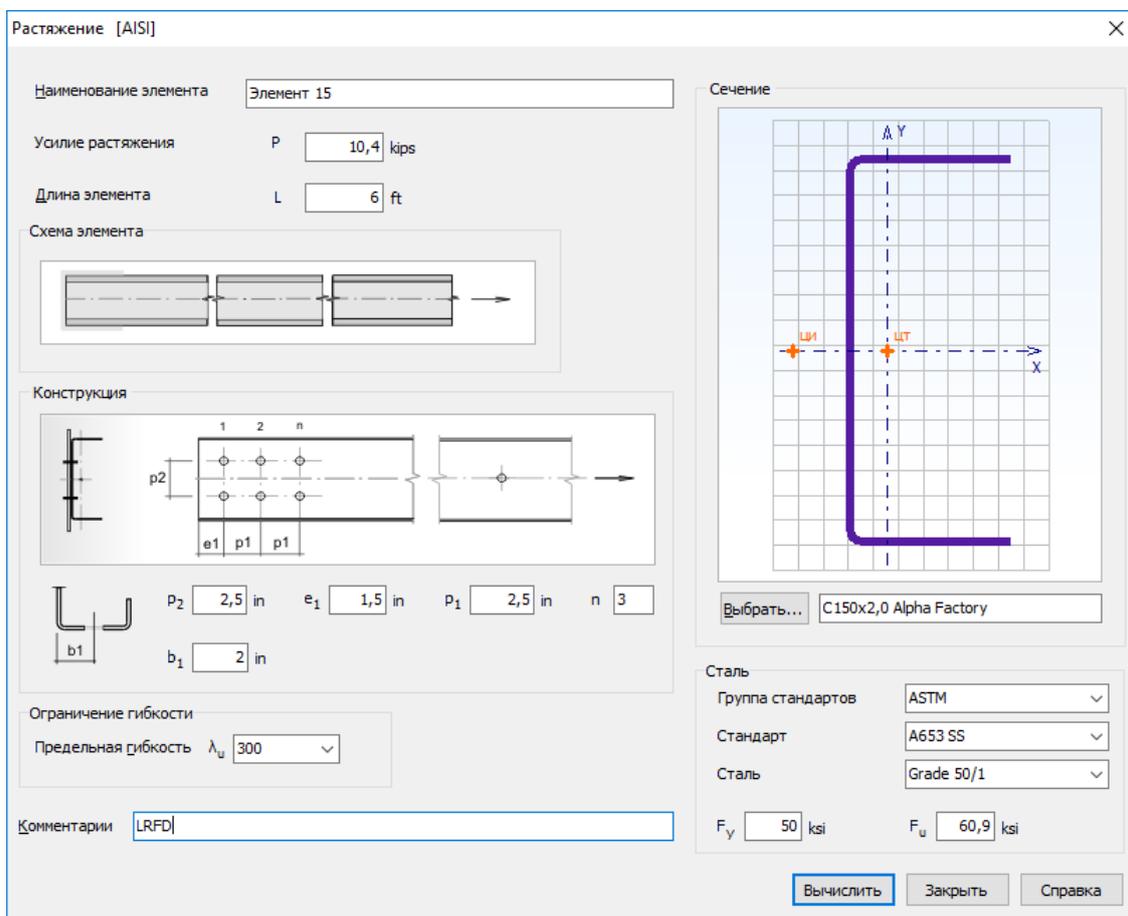


Рисунок 2.5.3 – Окно ввода данных для расчёта растянутых элементов

Вводятся значения *Усилия растяжения* P и *Длины элемента* L . Далее уточняется конструктивное решение элемента. Определяется конструкция прикреплении к смежным элементам, а также назначаются возможные ослабления по длине самого элемента. Для назначения конструктивного решения прикреплении необходимо щёлкнуть левой кнопкой мыши на место прикреплении на *Схеме элемента*. После чего появляется окно выбора типа прикреплении (Рисунок 2.3.3), на котором выбирается подходящий вариант. Диаметр отверстия в месте прикреплении определяется в *Настройках Расчёта* (п.3.1).

Если по длине элемента имеются ослабления, то необходимо щёлкнуть левой кнопкой мыши на среднюю часть элемента на *Схеме элемента*. После чего появляется окно выбора типа ослабления (Рисунок 2.3.4), на котором необходимо сделать соответствующий выбор, а также назначить диаметр отверстия, если он отличается от диаметра отверстий в прикреплении. Варьируя диаметром отверстия, можно ввести эквивалентное значение другого вида ослабления, имея в виду, что это ослабление должно быть симметрично относительно продольной оси элемента.

Далее вводятся нужные размеры прикреплении элемента на панели *Конструкция*.

Также необходимо назначить поперечное сечение. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается окно выбора сечения (Рисунок 2.3.5), и в нём выбирается сечение.

Сталь растянутого элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.5.3). Причём обязательны для заполнения только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Пользователь сам назначает сталь – фаворит (п.3.1), которая всегда будет появляться при первом вызове окна *Растяжение*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически загружаются последние выбранные (текущие) значения, которые в свою очередь можно редактировать.

Также в окне *Растяжение* вводится значение *предельной гибкости элемента*. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

2.5.1.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки (например, печати).

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.5.4). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит три вкладки. На вкладке *Общие данные* выводятся наименование расчёта, усилие растяжения, длина элемента, конструктивное решение элемента с размерами в месте прикреплении, название сечения, производитель профиля (наименование сортамента), размеры поперечного сечения, данные о стали, комментарии.

Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного нередуцированного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. Единицы измерения характеристик в рамках метрической системы единиц и количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

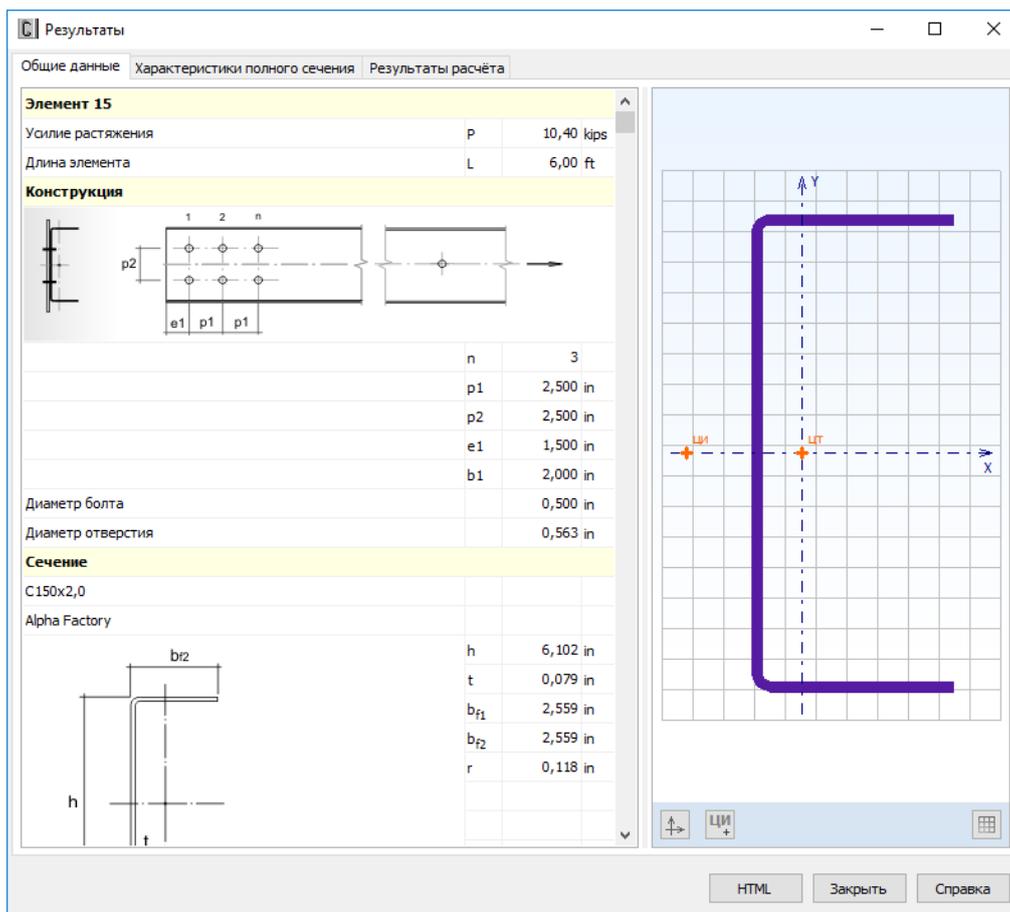


Рисунок 2.5.4 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов: *Общие данные*

Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного нередуцированного поперечного сечения, включая вес одного погонного метра профиля. Единицы измерения характеристик в рамках Международной системы единиц СИ или Американской системы единиц (U.S. customary), а также количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте главного меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.5.5) функционально поделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от настроек расчёта, определяемых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена.

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML.

На Рисунках 2.5.6 – 2.5.7 приведено представление данных о расчёте в Microsoft Excel®.

Результаты			
Общие данные Характеристики полного сечения Результаты расчёта			
Проверка	Расчётное неравенство	Значение	Пункт (формула)
Проверка несущей способности по сечению брутто	$P \leq P_{tg}$	10,40 < 38,62	✓ D2 (ф. D2-1)
Проверка несущей способности по сечению нетто по длине элемента	$P \leq P_{tn}$	10,40 < 36,53	✓ D3 (ф. D3-1)
Проверка несущей способности по разрыву в месте прикрепления	$P \leq P_{tr}$	10,40 < 20,62	✓ J6.2
Проверка несущей способности по смятию в месте прикрепления	$P \leq P_{tb}$	10,40 < 25,38	✓ J3.3.1
Проверка несущей способности по вырыву в месте прикрепления	$P \leq P_{tbs}$	10,40 < 24,59	✓ J6.3
Проверка гибкости элемента	$(KL/r)_{max} \leq (KL/r)_{lim}$	90,1 < 300	✓

Проверка несущей способности по смятию в месте прикрепления				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Требуемая несущая способность	P	10,40	kips	
Расчётная толщина	t	0,077165	in	
Диаметр болта	d_b	0,500	in	
Кэффициент смятия	C	3		Табл. J3.3.1-1
Кэффициент	m_f	1		Табл. J3.3.1-2
Количество болтов в соединении	n_b	6		
Предел прочности стали	F_u	60,9	ksi	
Кэффициент сопротивления	ϕ	0,6		J3.3.1
Расчётная несущая способность	ϕP_{tb}	25,38	kips	

HTML Закрыть Справка

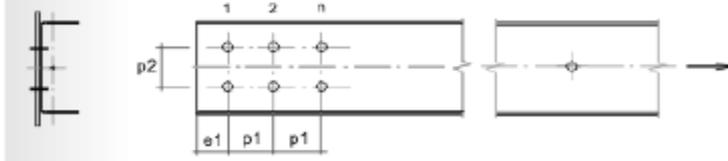
Рисунок 2.5.5 – Окно вывода результатов расчёта растянутых элементов:
Результаты расчёта



Элемент 15

Усилие растяжения	P	10,40 kips
Длина элемента	L	6,00 ft

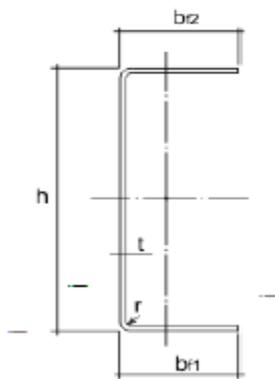
Конструкция



n	3
p1	2,500 in
p2	2,500 in
e1	1,500 in
b1	2,000 in
Диаметр болта	0,500 in
Диаметр отверстия	0,563 in

Сечение

C150x2,0
 Alpha Factory



h	6,102 in
t	0,079 in
br1	2,559 in
br2	2,559 in
r	0,118 in

t _{coat}	0,001575 in
-------------------	-------------

Сталь

Группа стандартов	ASTM
Стандарт	A653 SS
Сталь	Grade 50/1
Предел текучести	F _y 50,0 ksi
Предел прочности	F _u 60,9 ksi
Модуль упругости	E 29441,6 ksi
Коэффициент Пуассона	μ 0,3
LRFD	

Рисунок 2.5.6 – Вывод результатов в Excel: Общие данные



Элемент 15

Проверка	Расчётное неравенство	Значение		Пункт (формула)
Проверка несущей способности по сечению брутто	$P \leq P_{tg}$	10,40 < 38,62	✓	D2 (ф. D2-1)
Проверка несущей способности по сечению нетто по длине элемента	$P \leq P_{tn}$	10,40 < 36,53	✓	D3 (ф. D3-1)
Проверка несущей способности по разрыву в месте прикрепления	$P \leq P_{tr}$	10,40 < 20,62	✓	J6.2
Проверка несущей способности по смятию в месте прикрепления	$P \leq P_{tb}$	10,40 < 25,38	✓	J3.3.1
Проверка несущей способности по вырыву в месте прикрепления	$P \leq P_{tbs}$	10,40 < 24,59	✓	J6.3
Проверка гибкости элемента	$(KL/r)_{max} \leq (KL/r)_{lim}$	90,1 < 300	✓	

Дополнительно

Проверка	Расчётное неравенство	Значение		Метод
Проверка прочности по разрыву в месте прикрепления элемента	$P \leq N_{tr}$	10,40 < 29,42	✓	G.L.Kulak и E.Y.Wu
Проверка прочности по разрыву в месте прикрепления элемента	$P \leq P_{tr}$	10,40 < 27,83	✓	C.L.Pan
Проверка прочности по разрыву в месте прикрепления элемента	$P \leq P_{tr}$	10,40 < 20,68	✓	L.H.Teh и B.P.Gilbert

Проверка несущей способности по сечению брутто

Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Требуемая несущая способность	P	10,40	kips	
Площадь сечения брутто	A_g	0,843	in ²	
Средний по сечению предел текучести	F_{ys}	50,9	ksi	A3.3
Коэффициент сопротивления	ϕ	0,900		D2 (ф. D2-1)
Расчётная несущая способность	ϕP_{tg}	38,62	kips	

Проверка несущей способности по сечению нетто по длине элемента

Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Требуемая несущая способность	P	10,40	kips	
Площадь сечения нетто по длине элемента	A_n	0,800	in ²	
Предел прочности стали	F_u	60,9	ksi	
Коэффициент сопротивления	ϕ	0,750		D3 (ф. D3-1)

Рисунок 2.5.7а – Вывод результатов в Excel: *Результаты расчёта* (начало)

Элементы

Расчётная несущая способность	ϕP_{tn}	36,53 kips		
Проверка несущей способности по разрыву в месте прикрепления элемента				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Требуемая несущая способность	P	10,40 kips		
Площадь сечения нетто в месте прикрепления	A_n	0,756 in ²		J6.2
Редукционный коэффициент	U	0,689		J6.2 Табл. J6.2-1
Предел прочности стали	F_u	60,9 ksi		
Номинальный диаметр отверстия	h_o	0,563 in		
Коэффициент сопротивления	ϕ	0,650		Табл. J6-1
Расчётная несущая способность	ϕP_{tr}	20,62 kips		
Проверка несущей способности по смятию в месте прикрепления				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Требуемая несущая способность	P	10,40 kips		
Расчётная толщина	t	0,077165 in		
Диаметр болта	d_b	0,500 in		
Коэффициент смятия	C	3,000		Табл. J3.3.1-1
Коэффициент	m_r	1,000		Табл. J3.3.1-2
Количество болтов в соединении	n_b	6		
Предел прочности стали	F_u	60,9 ksi		
Коэффициент сопротивления	ϕ	0,600		J3.3.1
Расчётная несущая способность	ϕP_{tb}	25,38 kips		
Проверка несущей способности по вырыву в месте прикрепления				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Требуемая несущая способность	P	10,40 kips		
Площадь брутто, подвергаемая срезу	A_{gv}	1,003 in ²		
Площадь нетто, подвергаемая срезу	A_{nv}	0,786 in ²		
Площадь нетто, подвергаемая растяжению	A_{nt}	0,149 in ²		
Предел текучести стали	F_y	50,0 ksi		
Предел прочности стали	F_u	60,9 ksi		
Коэффициент сопротивления	ϕ	0,650		Табл. J6-1
Расчётная несущая способность	ϕP_{tbs}	24,59 kips		
Проверка гибкости элемента				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	Пункт (формула)
Максимальная гибкость	$(KL/r)_{max}$	90,1		
Предельная гибкость	$(KL/r)_{lim}$	300,0		
Проверка прочности по разрыву в месте прикрепления по G.L.Kulak и E.Y.Wu				
Описание	Обозн.	Значение	Ед.изм.	
Требуемая несущая способность	P	10,40 kips		
Площадь сечения нетто стенки	A_{cn}	0,373 in ²		
Площадь сечения обоих поясов	A_o	0,384 in ²		
Коэффициент	β	0,750		

Рисунок 2.5.7б – Вывод результатов в Excel: *Результаты расчёта*
(продолжение)

Элементы

Предел текучести	F_y	50,0 ksi
Предел прочности	F_u	60,9 ksi
Частный коэффициент сопротивления сечения нетто	γ_{M1}	1,250
Частный коэффициент сопротивления для предотвращения чрезмерных пластических деформаций	γ_{M0}	1,100
Расчётная несущая способность	N_{tr}	29,42 kips
Проверка прочности по разрыву в месте прикрепления по C.L.Pan		
Описание	Обозн.	Значение Ед.изм.
Требуемая несущая способность	P	10,40 kips
Площадь сечения нетто в месте прикрепления	A_n	0,756 in ²
Редукционный коэффициент	U	0,930
Предел прочности	F_u	60,9 ksi
Коэффициент сопротивления		0,650
Расчётная несущая способность	P_{tr}	27,83 kips
Проверка прочности по разрыву в месте прикрепления по L. H.Teh и B.P.Gilbert		
Описание	Обозн.	Значение Ед.изм.
Требуемая несущая способность	P	10,40 kips
Площадь сечения нетто в месте прикрепления	A_n	0,756 in ²
Предел прочности	F_u	60,9 ksi
Коэффициент сопротивления		0,650
Расчётная несущая способность	P_{tr}	20,68 kips

Рисунок 2.5.7в – Вывод результатов в Excel: *Результаты расчёта* (окончание)

Для элементов, выполненных из одинарного или спаренного швеллера(ов) в случае прикрепления через стенку, также предусмотрена возможность расчёта на предотвращение разрушения от разрыва по ослабленному отверстиями для болтов сечению по методикам, предложенным G.L. Kulak и E.Y. Wu (Кулак и Ву) [30,31], C.L. Pan (Пан) [33], L. H. Teh, B.P. Gilbert (Тех и Джильберт) [34].

Расчётное значение несущей способности по Кулак и Ву вычисляется

$$N_{tr} = 0,9 f_u A_{cn} / \gamma_{M1} + \beta f_y A_0 / \gamma_{M0}, \quad (2.5.10)$$

где A_{cn} – площадь нетто стенки с отверстиями (учитывается номинальный диаметр отверстия или увеличенный на 2 мм диаметр в зависимости от выбора пользователя); A_0 – суммарная площадь поясов; $\beta = 1$ – для прикреплений с количеством болтов или поперечных рядов болтов $n_b \geq 4$, $\beta = 0,75$ при $n_b = 3$, $\beta = 0,5$ при $n_b \leq 2$; γ_{M1} - частный коэффициент надёжности, применяемый при определении несущей способности сечений, ослабленных отверстиями под метизы; γ_{M0} – частный коэффициент надёжности, применяемый при определении несущей способности сечений по критерию чрезмерных пластических деформаций. Пользователь может настроить расчёт в зависимости от требуемой надёжности принимая те или иные значения коэффициентов γ_{M1} и γ_{M0} . Для того, чтобы пользователь мог более обоснованно назначить значения данных коэффициентов, в Томе II Верификационные расчёты документации к программе CFSteel [28] представлены верификационные расчёты по приведённой формуле в сравнении с данными соответствующих экспериментов разных исследователей. Приводятся нормативные значения несущей способности (без коэффициентов) и расчётные значения (с коэффициентами). Причём значения коэффициентов приняты $\gamma_{M1}=1,25$ и $\gamma_{M0}=1,1$, как это, например, рекомендуется в индийских нормах IS:800-2007.

Расчётное значение несущей способности по Пану при количестве поперечных рядов болтов в прикреплении два и более вычисляется

$$P_{tr} = \phi U A_n f_u. \quad (2.5.11)$$

При этом редуцированный коэффициент U выражается эмпирическим уравнением

$$U = \left[1,15 - 0,86 \left(\frac{x}{L} \right) - 0,14 \left(\frac{W_u}{W_c} \right) \right], \quad (2.5.12)$$

где W_u – суммарная ширина поясов за вычетом толщины листа; W_c – высота швеллера. При значении $U \leq 0,5$ элемент необходимо рассчитывать как растянутый с изгибом.

Расчётное значение несущей способности по Теху и Джильберту определяется

$$P_{tr} = \phi A_n f_u \left[\frac{1}{1,1 + \frac{W_f}{W_c} + \frac{x}{2W_f} + \frac{x}{L}} \right], \quad (2.5.13)$$

где W_f – ширина пояса за вычетом толщины стали; W_c – высота швеллера.

Данная формула также справедлива для количества поперечных рядов болтов в прикреплении два и более.

Коэффициенты сопротивления ϕ в (2.5.11) и (2.5.13) назначаются пользователем. Для более обоснованного их назначения в Томе II Верификационные расчёты документации к программе CFSteel [28] представлены верификационные расчёты по приведённым формулам в сравнении с данными соответствующих экспериментов разных исследователей. Представлены нормативные значения несущей способности и расчётные значения. В работах самих авторов методик [31] и [34] и верификационных расчётах приняты значения $\phi = 0,65$.

Расчётные значения несущей способности элементов из спаренных профилей приняты как удвоенные значения несущей способности элементов из соответствующих одиночных профилей.

Также необходимо отметить, что дополнительные проверки на предотвращение разрушения от разрыва по ослабленному отверстиями для болтов сечению в месте прикреплении по методикам, предложенным G.L. Kulak и E.Y. Wu (Кулак и Ву), C.L. Pan (Пан), L. H. Teh, B.P. и Gilbert (Тех и Джильберт) производятся только для швеллеров, прикрепляемых стенкой и только в том случае, если их необходимость отмечена в *Настройках Расчёта* (п.3.1).

Результаты расчётов по данным методикам приведены на Рисунке 2.5.7,в.

2.5.2. Центральные сжатые элементы

2.5.2.1. Методика расчёта

В зависимости от выбора пользователя расчёт может быть выполнен в форме Метода Допускаемой Прочности (ASD), Метода Коэффициентов (LRFD) или Метода Предельных Состояний (LSD).

Центрально сжатыми элементами считаются такие, в которых результирующая от всех действующих в стержне сжимающих сил приложена в центре тяжести эффективного сечения, которое определяется при номинальных напряжениях F_n , определяемых по E2 [25]. В CFSteel полагается, что прикладываемая к элементу осевая сила проходит через центр тяжести полного сечения. Поэтому, как центрально сжатые рассчитываются элементы из одиночных профилей, у которых эффективное сечение, определённое при F_n , совпадает с полным сечением (редукция не требуется, т.е. $A_e = A$), и все элементы из спаренных профилей, которые являются симметричными относительно обеих осей поскольку они состоят из симметричных профилей. Элементы из одиночных профилей, у которых эффективное сечение отличается от полного $A_e < A$ (т.е. требуется редукция) и, следовательно, центры тяжести сечений не совпадают,

рассчитываются как сжатые с изгибом стержни (п. 2.5.3). CFSteel автоматически определяет, требуется или нет редуция, и выполняет соответствующий вариант расчёта.

В общем виде расчёт выполняется в форме неравенства (B3 [25])

ASD:

$$P \leq P_{cn} / \Omega_c, \quad (2.5.14,a)$$

LRFD, LSD:

$$P \leq \phi_c P_{cn}, \quad (2.5.14,b)$$

где P – сжимающее усилие; P_{cn} – номинальная несущая способность при сжатии; Ω – коэффициент безопасности; ϕ_c – коэффициент сопротивления; P_{cn}/Ω_c – допускаемая несущая способность; $\phi_c P_{cn}$ – расчётная несущая способность.

Значение сжимающего усилия P , вводимое пользователем, должно соответствовать правилам его определения в зависимости от метода расчёта. Для метода ASD оно должно определяться на основе номинальных значений нагрузок с учётом их сочетаний. Для метода LRFD и LSD P должно определяться на основе номинальных значений нагрузок, домноженных на соответствующие коэффициенты по нагрузке, и с учётом сочетаний нагрузок. P_{cn} вычисляется программно, а Ω_c и ϕ_c назначаются, в соответствии с указаниями AISI S100 [25].

Поскольку для определения эффективного сечения используется Метод эффективной ширины, то необходимо выполнение ограничений максимальных отношений ширин плоских участков пластин, формирующих сечение, к толщине металла, а также ограничение на максимальный предел текучести 552 МПа (Таблица В4.1-1 [25]).

Центрально сжатые элементы из одинарных профилей

Рассматриваются элементы с сечением из одинарных профилей, симметричных относительно оси X , перпендикулярной стенке.

Несущая способность центрально сжатых элементов из одинарных профилей определяется как наименьшее значение из следующих величин:

- Несущая способность по изгибной (плоской) форме потери устойчивости;
- Несущая способность по изгибно-крутильной форме потери устойчивости;
- Несущая способность по потере устойчивости формы сечения.

Кроме того, производится проверка гибкости элемента (если требуется).

Номинальная несущая способность по критерию потери устойчивости по изгибной и изгибно-крутильной форме, учитывающая сочетание локальной и глобальных форм потери устойчивости, определяется из выражения (E3.1 [25]):

$$P_{nl} = A_e F_n \leq P_{ne}, \quad (2.5.15)$$

$$\Omega_c = 1,80 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_c = 0,85 \text{ (LRFD)}$$

$$= 0,80 \text{ (LSD)},$$

где A_e – площадь эффективного сечения, вычисленная при уровне напряжений, соответствующем потере устойчивости элемента по глобальной (изгибной и изгибно-крутильной) форме F_n . Эффективное сечение определяется в соответствии с Приложением 1 [25]. В данном случае для стержней с одинарным сечением $A_e = A_g$, т.е. редуции при напряжениях F_n не происходит.

$$P_{ne} = A_g F_n \quad (2.5.16)$$

где A_g – площадь полного сечения.

Номинальные напряжения потери устойчивости элемента по изгибной и изгибно-крутильной форме вычисляются (E2 [25]):

при $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y, \quad (2.5.17,a)$$

при $\lambda_c > 1,5$

$$F_n = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) F_y, \quad (2.5.17,6)$$

где

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}}, \quad (2.5.18)$$

где F_y – предел текучести стали; F_{cre} - напряжения упругой потери устойчивости по изгибной и изгибно-крутильной форме потери устойчивости.

Упругие напряжения потери устойчивости по изгибной форме (E2.1) [25]:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}, \quad (2.5.19)$$

где K - коэффициент приведения расчётной длины, L - нераскреплённая длина элемента, r - радиус инерции полного сечения. $F_e = \min(F_{ex}, F_{ey})$.

Упругие напряжения потери устойчивости по изгибно-крутильной форме потери устойчивости F_{eft} (E2.2 [25]):

$$F_{eft} = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right], \quad (2.5.20)$$

где $\beta = 1 - (x_0/r_0)^2$; x_0 - расстояние от центра тяжести полного сечения до центра изгиба, принимаемое отрицательным; r_0 - полярный радиус инерции полного сечения относительно центра изгиба:

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2}, \quad (2.5.21)$$

где r_x, r_y - радиусы инерции полного сечения относительно соответствующих осей.

Упругие напряжения по изгибной форме потери устойчивости относительно оси X (C3.1.2.1 [25]):

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}, \quad (2.5.22)$$

Упругие напряжения по крутильной форме потери устойчивости (C3.1.2.1 [25]):

$$\sigma_t = \frac{1}{A_g r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right], \quad (2.5.23)$$

где G - модуль сдвига, J - момент инерции при свободном кручении, C_w - секториальный момент инерции, K_t - коэффициент приведения расчётной длины при кручении, L_t - нераскреплённая длина элемента при кручении.

Если в элементах из С-образного профиля или Швеллера в стенке имеются отверстия, то согласно п. E3.1.2 [25] они не учитываются при условии, что их количество на длине элемента, равной KL , умноженное на диаметр отверстия и делённое на KL , не превышает значения 0,015. Если данное условие не выполняется, то отверстия учитываются при вычислении A_e в соответствии с Приложением 1 [25]. Полагается, что отверстия находятся на центральной продольной оси элемента.

Центрально сжатые элементы из спаренных профилей

Рассматриваются симметричные относительно обеих центральных осей поперечные сечения.

Несущая способность центрально сжатых элементов из спаренных профилей определяется как наименьшее значение из следующих величин:

- Несущая способность по изгибной форме потери устойчивости;
- Несущая способность по крутильной форме потери устойчивости;
- Несущая способность по потере устойчивости формы сечения.

Кроме того, производится проверка гибкости элемента.

Номинальная несущая способность по критерию потери устойчивости по изгибной и крутильной форме, учитывающая сочетание локальной и глобальных форм потери устойчивости, определяется (С3.1 [25]):

$$P_{nl} = A_e F_n \leq P_{ne}, \quad (2.5.24)$$

$\Omega_c = 1,80$ (ASD)

$\phi_c = 0,85$ (LRFD)

$= 0,80$ (LSD),

где A_e - площадь эффективного сечения, вычисленная при уровне напряжений, соответствующем потере устойчивости элемента по глобальной (изгибной и изгибно-крутильной) форме F_n . Эффективное сечение определяется в соответствии с Приложением 1 [25].

Номинальные напряжения потери устойчивости элемента по изгибной и крутильной форме вычисляются (E2 [25]):

при $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_n = (0,658\lambda_c^2) F_y, \quad (2.5.25,a)$$

при $\lambda_c > 1,5$

$$F_n = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) F_y, \quad (2.5.25,b)$$

где

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}}, \quad (2.5.26)$$

где F_{cre} - значение напряжений упругой потери устойчивости по изгибной и крутильной форме потери устойчивости.

Упругие напряжения потери устойчивости по изгибной форме (С3.1.2.1 [25]):

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}, \quad (2.5.27)$$

где K - коэффициент приведения расчётной длины, L - нераскреплённая длина элемента, r - радиус инерции полного сечения. Вычисляются значения F_e для осей X и Y . $F_e = \min(F_{ex}, F_{ey})$.

В программе рассматриваются составные сечения с непосредственным примыканием профилей друг к другу. В соответствии с (D1.2 [25]) в формуле (2.5.27) при расчёте относительно оси Y учитывается модифицированная гибкость

$$\left(\frac{KL}{r} \right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r} \right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i} \right)^2}, \quad (2.5.28)$$

где $(KL/r)_0$ - гибкость полного сечения относительно оси Y , a - расстояние между метизами, соединяющими два профиля, r_i - минимальный радиус инерции одного профиля. При этом должны выполняться конструктивные требования к соединениям двух профилей в единый элемент, изложенные в пункте II.2 [25].

Упругие напряжения потери устойчивости по крутильной форме (E2.2 [25]):

$$F_e = \sigma_t = \frac{1}{A_g r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right], \quad (2.5.29)$$

где G - модуль сдвига, J - момент инерции при свободном кручении, C_w - секториальный момент инерции, K_t - коэффициент приведения расчётной длины при кручении, L_t - нераскреплённая длина элемента при кручении, r_0 - полярный радиус инерции полного сечения относительно центра изгиба. В случае с симметричными относительно двух осей сечениями центр изгиба совпадает с центром тяжести. Тогда

$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2}, \quad (2.5.30)$$

где r_x, r_y - радиусы инерции полного сечения относительно соответствующих осей.

Номинальная несущая способность центрально сжатых элементов из одинарных и спаренных профилей по потере устойчивости формы сечения P_{cnd} (за исключением элементов из швеллера) определяется (Е4 [25]):

При $\lambda_d \leq 0,561$

$$P_{cnd} = P_y, \quad (2.5.31,a)$$

При $\lambda_d > 0,561$

$$P_{cnd} = \left(1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0,6}\right) \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0,6} P_y, \quad (2.5.31,b)$$

$\Omega_c = 1,80$ (ASD)

$\phi_c = 0,85$ (LRFD)

$= 0,80$ (LSD),

где

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}}, \quad (2.5.32)$$

$$P_y = A_g \cdot F_y, \quad (2.5.33)$$

$$P_{crd} = A_g \cdot F_{crd}, \quad (2.5.34)$$

где F_{crd} - упругие напряжения потери устойчивости формы сечения, которые определяются по п.2.3.1.3 Приложения 2 [25].

Проверка гибкости элемента производится в соответствии с неравенством

$$(KL/r)_{max} \leq (KL/r)_{lim} \quad (2.5.35)$$

где $(KL/r)_{max} = \max(K_x L_x / r_x, K_y L_y / r_y)$, $(KL/r)_{lim}$ – предельная гибкость, задаваемая пользователем.

2.5.2.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Сжатие*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.5.8.

Сжатие [AISI]

Наименование элемента: Элемент 38 Проект 115/17-6

Сжимающее усилие: P 24 kips

Расчётная длина:

K_x 1 L_x 10 ft

K_y 1 L_y 5 ft

K_t 1 L_t 10 ft

Потеря устойчивости формы сечения

Шаг закрепления: L_m 10 ft

Непрерывное закрепление

Отверстия

Имеются отверстия

Диаметр отверстия: 0 in Шаг отверстий: 12 in

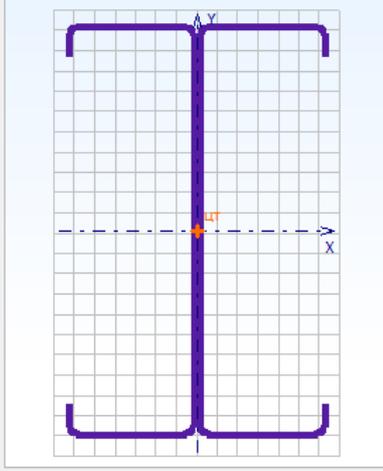
Шаг метизов: 12 in

Предельная гибкость

Предельная гибкость: 200

Комментарии: LRFD

Сечение



Выбрать... 800S250-68 SSMA

Сталь

Группа стандартов: ASTM

Стандарт: A653 SS

Сталь: Grade 33

F_y 33 ksi F_u 52,2 ksi

Вычислить Закрывать Справка

Рисунок 2.5.8 - Окно ввода данных для расчёта сжатых элементов

Пользователю предоставляется возможность ввести *Наименование элемента* или расчёта, *Сжимающее усилие P*, значение которого зависит от выбранного метода расчёта (ASD или LRFD, LSD), нераскреплённые длины элемента L_x , L_y и коэффициенты приведения расчётной длины K_x , K_y относительно соответствующих осей, а также нераскреплённую длину и коэффициент приведения расчётной длины для расчёта на кручение (L_t и K_t).

Для расчёта по критерию потери устойчивости формы сечения необходимо ввести шаг L_m дискретных закреплений пояса, предотвращающих данный вид потери устойчивости. Если таких закреплений по длине элемента нет, то считается, что закрепления имеются на опорах, и, таким образом, должна вводиться длина элемента. Если пояс закреплён непрерывно по всей длине, то следует установить соответствующий флаг.

Также необходимо назначить поперечное сечение элемента. Для этого на панели *Сечение* находится кнопка *Выбрать...*, по которой открывается окно выбора сечения (Рисунок 2.3.5), в котором выбирается сечение.

Сталь растянутого элемента назначается или путём выбора из Библиотеки сталей, или непосредственным вводом значений на панели *Сталь* (Рисунок 2.5.8). Причём, обязательными для заполнения (редактирования) являются только поля ввода предела текучести и предела прочности. При первом появлении окна в нём автоматически в качестве выбранной стали появляется сталь – фаворит. Пользователь сам назначает сталь – фаворит (п.3.1), которая всегда будет появляться при первом вызове окна *Сжатие*. При повторном входе в окно в поля ввода автоматически загружаются последние выбранные (текущие) значения, которые в свою очередь можно редактировать.

В случае, если элемент выполнен из одиночного профиля, и его сечение состоит из относительно тонких пластин и подлежит редуцированию, то это приводит к несовпадению

линии действия сжимающего усилия и центра тяжести эффективного сечения. Иными словами, возникает эксцентриситет приложения нагрузки, и такой стержень рассчитывается как сжатый с изгибом (п. 2.5.3).

Если по длине элемента имеются отверстия, то необходимо это отметить и ввести диаметр и шаг отверстий. Полагается, что отверстия располагаются регулярно по продольной оси элемента.

Для расчёта спаренных профилей вводится шаг метизов, соединяющих эти профили.

Также в окне *Сжатие* вводится значение предельной гибкости элемента. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

2.5.2.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки.

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.5.9). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит три вкладки. На вкладке *Общие данные* выводятся наименование расчёта, сжимающее усилие, нераскреплённые длины элемента относительно осей X и Y , коэффициенты приведения длины относительно соответствующих осей, нераскреплённая длина элемента при расчёте на кручение и соответствующий коэффициент приведения, расстояние между метизами (для спаренных профилей), предельная гибкость элемента. Для профилей, для которых выполняется расчет на потерю устойчивости формы сечения, выводится расстояние между точками закрепления пояса. Также приводятся сведения о сечении, стали и отверстиях (если имеются).

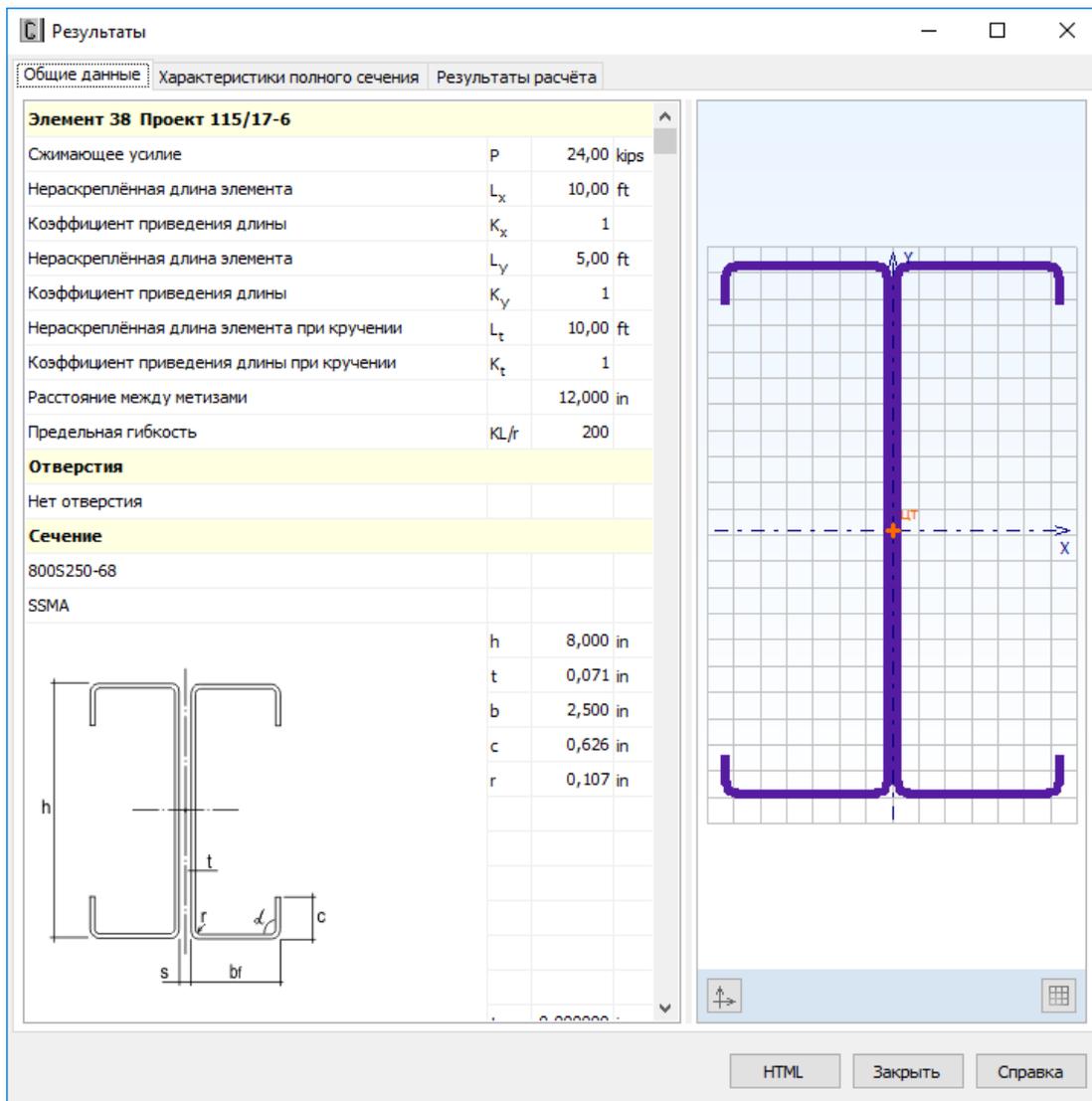


Рисунок 2.5.9 - Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов: *Общие данные*

Вкладка *Характеристики полного сечения* содержит геометрические характеристики полного поперечного сечения вне зависимости, есть отверстия в стенке по длине элемента или нет. Единицы измерения характеристик в рамках Международной системы единиц СИ или Американской системы единиц (U.S. customary), а также количество знаков после запятой пользователь может установить в пункте главного меню *Настройки* → *Единицы измерения* (п.3.2).

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.5.10) функционально поделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Данный список зависит от типа сечения, введённых численных значений величин и настроек расчёта, определённых пользователем в пункте меню *Настройки* → *Расчёт* (п.3.1). Для каждой проверки выводятся её наименование, символьное представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся:

её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена.

Расчёт	Неравенство	Значение	Пункт (формула) AISI S100
Проверка по изгибной (крутильной) форме потери устойчивости	$P \leq P_c$	24,00 < 29,22	✓ E2, E3
Проверка потери устойчивости формы сечения	$P \leq P_d$	24,00 < 34,85	✓ E4
Проверка гибкости элемента	$(KL/r)_{max} \leq (KL/r)_{lim}$	54,9 < 200	✓

Проверка по изгибной (крутильной) форме потери устойчивости				
Описание	Обозн.	Значение	Ед. изм.	Пункт (формула) AISI S100
Требуемая несущая способность	P	24,00	kips	
Площадь сечения	A_g	1,956	in ²	
Предел текучести	F_y	33,0	ksi	
Нераскреплённая длина относительно оси X	L_x	10,00	ft	
Коэффициент приведения длины относительно оси X	K_x	1		
Нераскреплённая длина относительно оси Y	L_y	5,00	ft	
Коэффициент приведения длины относительно оси Y	K_y	1		
Нераскреплённая длина при кручении	L_t	10,00	ft	
Коэффициент приведения длины при кручении	K_t	1		
Упругие напряжения потери устойчивости по изгибной форме	F_{eF}	90,8	ksi	E2.1
Упругие напряжения потери устойчивости по крутильной форме	F_{eT}	41,4	ksi	E2.2
Площадь эффективного сечения	A_e	1,454	in ²	
Номинальная несущая способность	P_{cn}	34,37	kips	E3.1
Коэффициент сопротивления	ϕ_c	0,85		Глава E
Расчётная несущая способность	$\phi_c P_{cn}$	29,22	kips	Глава E

Рисунок 2.5.10 - Окно вывода результатов расчёта сжатых элементов:

Результаты расчёта

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML.

2.5.3. Сжатые с изгибом элементы

2.5.3.1. Методика расчёта

В зависимости от выбора пользователя расчёт может быть выполнен в форме Метода Допускаемой Прочности (ASD), Метода Коэффициентов (LRFD) или Метода Предельных Состояний (LSD).

Полагается, что изгиб элементов из одинарных профилей происходит относительно оси Y, параллельной стенке, а изгиб элементов из спаренных профилей – относительно оси X, т.е. в плоскости стенки.

Принят Метод Расчётных Длин (C1.3 [25]).

Расчёт сжатых с изгибом элементов производится в форме уравнения взаимодействия (Eq. H1.2-1 [25]). Кроме того, каждое из слагаемых в этом уравнении не должно превосходить единичное значение.

$$\frac{P}{P_a} + \frac{M}{M_a} \leq 1,0 \quad (2.5.36)$$

где P – требуемое осевое сжимающее усилие. P вводится пользователем и должно быть получено в соответствии с правилами того метода, по которому выполняется расчёт. M – требуемый изгибающий момент, действующий в соответствующей плоскости. Значение M вводится пользователем и должно быть получено в соответствии с правилами того метода, по которому выполняется расчёт. P_a – расчётная несущая способность при осевом сжатии, которая вычисляется в соответствии с Главой E [25] см. п.2.5.2.1. M_a – расчётная несущая способность элемента на изгиб, которая вычисляется в соответствии с Главой F [25].

Требуемый изгибающий момент M должен быть определён применительно к центральным осям эффективного сечения, которое определяется для действующего осевого усилия в элементе. Осевое усилие вызывает равномерное сжатие сечения. Для спаренных профилей (бисимметричное сечение) переход от полного сечения к эффективному не приводит к изменению положения центральных осей. Поэтому для таких сечений расчёт производится на требуемый изгибающий момент введённый пользователем. Для одинарных профилей такой переход может сопровождаться изменением положения центральной оси, параллельной стенке. Поэтому расчёт производится на откорректированный изгибающий момент $M = M_{user} + P \cdot e$; где M_{user} – изгибающий момент, введённый пользователем, P – осевое усилие, введённое пользователем, e – эксцентриситет, представляющий собой смещение оси, параллельной стенке, относительно её первоначального положения при переходе к эффективному сечению. При этом эффективное сечение определяется при $\sigma_{com} = P/A$. Добавка $P \cdot e$ учитывается только в том случае, если она увеличивает изгибающий момент.

Поскольку для определения эффективного сечения используется Метод эффективной ширины, то необходимо выполнение ограничений максимальных отношений ширин плоских участков пластин, формирующих сечение, к толщине металла, а также ограничение на максимальный предел текучести 552 МПа (Таблица В4.1-1 [25]).

Номинальная несущая способность на осевое сжатие P_n определяется как наименьшее значение из следующих величин: несущая способность по изгибной форме потери устойчивости, несущая способность по изгибно-крутильной форме потери устойчивости (одинарные профили) или по крутильной форме (спаренные профили); несущая способность по потере устойчивости формы сечения (кроме швеллеров и спаренных швеллеров) (Глава E [25]). Методика вычисления P_n приведена выше в п.2.5.2.1.

Расчётная несущая способность вычисляется в зависимости от метода расчёта:

ASD:

$$P_a = P_n / \Omega_c, \quad (2.5.37, a)$$

LRFD, LSD:

$$P_a = \phi_c P_n, \quad (2.5.37, б)$$

где $\Omega_c = 1,80$; $\phi_c = 0,85$ (LRFD), $\phi_c = 0,80$ (LSD).

Расчётная несущая способность элемента на изгиб $M_a = \phi_b M_n$ или $M_a = M_n / \Omega_b$ вычисляется как наименьшее из значений: несущая способность по критерию появления первой текучести/потери устойчивости плоской формы изгиба во взаимодействии с возможной потерей местной устойчивости, а также потери устойчивости формы сечения (Глава F2, F3 and F4 [25]). Где $\Omega_b = 1,67$; $\phi_b = 0,9$ (LRFD), $\phi_b = 0,9$ (LSD).

Номинальная несущая способность по критерию появления первой текучести/потери устойчивости плоской формы изгиба вычисляется (Глава F2.1 [25] Eq. F2.1-1):

$$M_{ne} = S_f F_n \leq M_y \quad (2.5.38)$$

где S_f – упругий момент сопротивления полного сечения для максимально сжатого волокна; $M_y = S_{fy} \cdot F_y$. S_{fy} – минимальный момент сопротивления полного сечения.

F_n – напряжения, вычисляемые следующим образом:

Для $F_{cre} \geq 2,78 F_y$ $F_n = F_y$

Для $2,78 F_y > F_{cre} > 0,56 F_y$

$$F_n = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_{cre}} \right) \quad (2.5.39)$$

Для $F_{cre} \leq 0,56 F_y$ $F_c = F_{cre}$

где F_{cre} – упругие напряжения потери устойчивости плоской формы изгиба, которые вычисляются следующим образом (F2.1 [25]):

Для одиночных профилей (Eq. F2.1.2-1 [25])

$$F_{cre} = \frac{C_s A_g \sigma_{ex}}{C_{TF} S_f} \left[j + C_s \sqrt{j^2 + r_0^2 (\sigma_t / \sigma_{ex})} \right] \quad (2.5.40)$$

где $C_s = +1$ для действующего момента, вызывающего сжатие в сечении со стороны центра изгиба по отношению к центру тяжести; $C_s = -1$ для действующего момента, вызывающего растяжение в сечении со стороны центра изгиба по отношению к центру тяжести; S_f – упругий момент сопротивления полного сечения для наиболее сжатого волокна. Значение коэффициента C_{TF} вводится пользователем. В [39] для сжатых с изгибом элементов рекомендуется $C_{TF} = 1$.

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}, \quad (2.5.41)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A_g r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right], \quad (2.5.42)$$

$j = \beta_y / 2$, где

$$\beta_y = \frac{\beta_w + \beta_f + \beta_l}{I_y} - 2x_0 \quad (2.5.43)$$

Вычисление β_w , β_f и β_l производится по формулам, приведённым в Приложении С [39].

σ_{ex} , r_0 , x_0 и σ_t определены в п.2.5.2.1.

Для сдвоенных профилей

$$F_{cre} = \frac{C_b A_g r_0}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (2.5.44)$$

где

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (2.5.45)$$

где M_{max} – абсолютное значение максимального изгибающего момента на рассматриваемом сегменте стержневого элемента; M_A – абсолютное значение изгибающего момента в четверти рассматриваемого сегмента; M_B – абсолютное значение изгибающего момента в середине рассматриваемого сегмента; M_C – абсолютное значение изгибающего момента на расстоянии три четверти длины рассматриваемого сегмента от его начала. Значения M_{max} , M_A , M_B и M_C вводятся пользователем. В AISI S100 [25] допускается значение C_b в запас принимать равным 1,0. S_f – упругий момент сопротивления полного сечения для максимально сжатого волокна

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2}, \quad (2.5.46)$$

Возможное снижение несущей способности за счёт потери местной устойчивости учитывается в дополнительном номинальном моменте (F3.1 [25]):

$$M_{nl} = S_e F_n \leq S_{et} F_y \quad (2.5.47)$$

где S_e – минимальный момент сопротивления эффективного сечения, вычисленный для напряжений F_n , S_{et} – минимальный момент сопротивления эффективного сечения, вычисленный для напряжений F_y .

Номинальная несущая способность по критерию потери устойчивости формы сечения M_{nd} определяется (F4.1 [25]):

Если $\lambda_d \leq 0,673$ $M_{nd} = M_y$

Если $\lambda_d > 0,673$

$$M_{nd} = \left(1 - 0,22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} \right) \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} M_y \quad (2.5.48)$$

где

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{M_y}{M_{crd}}} \quad (2.5.49)$$

$$M_y = S_{fy} F_y$$

где S_{fy} – упругий момент сопротивления полного сечения для наиболее загруженного волокна при напряжении, равном пределу текучести.

$$M_{crd} = S_f F_{crd}$$

где S_f – упругий момент сопротивления полного сечения для наиболее сжатого волокна; F_{crd} – упругие напряжения потери устойчивости формы сечения (Приложение 2 [25]):

$$F_{crd} = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}} \quad (2.5.50)$$

где β консервативно принято равным единице, как это допускается в [25].

$$k_{\phi fe} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \left(EI_{xf} (x_{0f} - h_x)^2 + EC_{wf} - E \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_{0f} - h_x)^2 \right) + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 GJ_{tf} \quad (2.5.51)$$

$$k_{\phi fe} = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{3}{h_0} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \frac{19h_0}{60} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \frac{h_0^3}{240} \right) \quad (2.5.52)$$

$$\tilde{k}_{\phi fg} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left[A_f \left((x_0 - h_x)^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right)^2 - 2y_0(x_0 - h_x) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right) + h_x^2 + y_0^2 \right) + I_{xf} + I_{yf} \right] \quad (2.5.53)$$

$$\tilde{k}_{\phi wg}$$

$$= \frac{h_0 t \pi^2}{13440} \left[\frac{(45360(1 - \xi_{web}) + 62160) \left(\frac{L}{h_0} \right)^2 + 448\pi^2 + \left(\frac{L}{h_0} \right)^2 (53 + 3(1 - \xi_{web})) \pi^4}{\pi^4 + 28\pi^2 \left(\frac{L}{h_0} \right)^2 + 420 \left(\frac{L}{h_0} \right)^4} \right] \quad (2.5.54)$$

где ξ_{web} – градиент напряжений в стенке полного сечения: $\xi_{web} = 2$ (п. 2.3.3.3 [8]); $L = \min(L_{cr}, L_m)$.

$$L_{cr} = \left[\frac{4\pi^4 h_0 (1 - \mu^2)}{t^3} \left(I_{xf} (x_0 - h_x)^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_0 - h_x)^2 \right) + \frac{\pi^4 h_0^4}{720} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.5.55)$$

L_m – расстояние между закреплениями от потери устойчивости формы сечения (вводится пользователем). Для непрерывного закрепления $L_m = L_{cr}$.

Геометрические свойства сжатого пояса вычисляются в соответствии с Таблицей 2.3.1.3-1 [25].

Для вычисления расчётной несущей способности элемента на изгиб принимается минимальное значение из M_{ne} , M_{nl} и M_{nd} .

Коэффициенты безопасности при сжатии и изгибе и коэффициенты сопротивления при сжатии и изгибе принимаются по Главе Е и F соответственно.

Проверка гибкости элемента производится в соответствии с неравенством

$$(KL/r)_{max} \leq (KL/r)_{lim} \quad (2.5.56)$$

где $(KL/r)_{max} = \max(K_x L_x / r_x, K_y L_y / r_y)$, $(KL/r)_{lim}$ - предельная гибкость, задаваемая пользователем.

2.5.3.2. Ввод данных

Для ввода данных необходимо в главном меню выбрать *Элемент* → *Сжатие с изгибом*, после чего появляется окно ввода, показанное на Рисунке 2.5.11.

Рисунок 2.5.11 - Окно ввода данных для расчёта сжатых с изгибом элементов

Пользователю предоставляется возможность ввести *наименование элемента* или расчёта, *осевое сжимающее усилие P*, значение которого зависит от выбранного метода расчёта (ASD или LRFD, LSD), *изгибающий момент M*, *нераскреплённые длины элемента L_x, L_y* и *коэффициенты приведения расчётной длины K_x, K_y* относительно соответствующих осей, а также *нераскреплённую длину и коэффициент приведения расчётной длины для расчёта на кручение (L_t и K_t)*. Также должен быть введён коэффициент *C_m*.

Для расчёта по критерию потери устойчивости формы сечения необходимо ввести шаг *L_m* дискретных закреплений пояса, предотвращающих данный вид потери устойчивости. Если таких закреплений по длине элемента нет, то считается, что закрепления имеются на опорах, и, таким образом, должна вводиться длина элемента. Если пояс закреплён непрерывно по всей длине, то следует установить соответствующий флаг.

Для элементов из одиночных профилей необходимо ввести значение коэффициента C_{TF} и направление действия изгибающего момента M в соответствии с п. С3.1.2.1 [25].

Для элементов из спаренных профилей следует ввести значение коэффициента C_b или выбрать *Вычислить*, если необходим программный расчёт C_b . В последнем случае вводятся значения: M_{max} – абсолютное значение максимального изгибающего момента на рассматриваемом сегменте стержневого элемента; M_A – абсолютное значение изгибающего момента в четверти рассматриваемого сегмента; M_B – абсолютное значение изгибающего момента в середине рассматриваемого сегмента; M_C – абсолютное значение изгибающего момента на расстоянии три четверти длины рассматриваемого сегмента от его начала. Кроме того, вводится значение шага метизов, соединяющих отдельные профили в спаренном сечении.

Если по длине элемента имеются отверстия, то необходимо это отметить и ввести диаметр и шаг отверстий. Полагается, что отверстия располагаются регулярно по продольной оси элемента.

Также в окне *Сжатие с изгибом* вводится значение *предельной гибкости элемента*. Последнее является обязательным в том случае, если в *Настройках Расчёта* (п.3.1) отмечена необходимость проверки элемента по предельной гибкости.

Выбор сечения и выбор стали осуществляются как было указано ранее.

2.5.3.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта отображаются на экране и при необходимости могут быть переданы в Microsoft Excel[®] или конвертированы в формат HTML для дальнейшей обработки.

Окно результатов расчёта, отображаемое на экране, разделено на две части (Рисунок 2.5.12). В правой части показывается поперечное сечение элемента. Левая часть содержит три вкладки. На вкладке *Общие данные* выводятся введённые пользователем данные для расчёта.

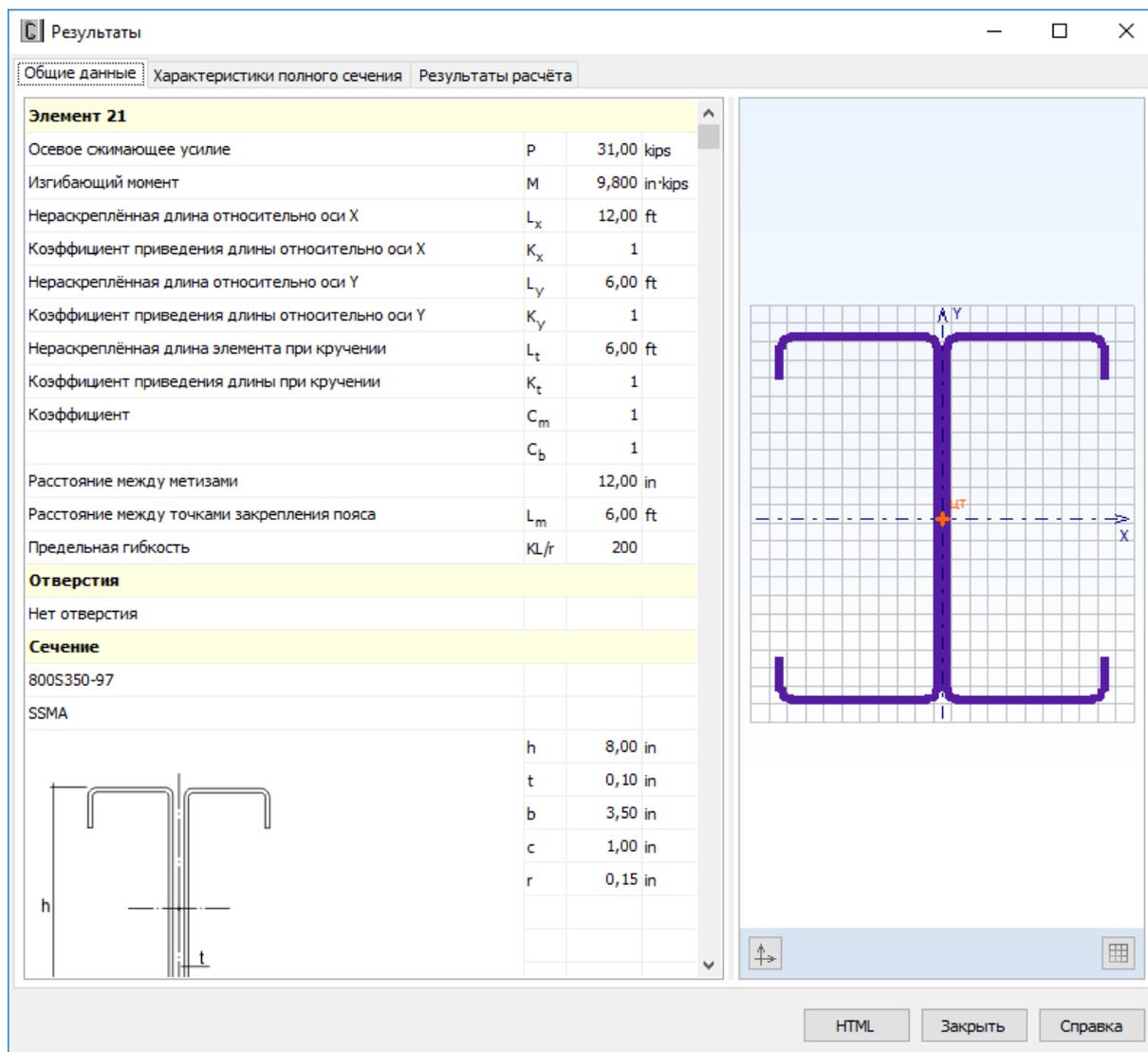


Рисунок 2.5.12 - Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Общие данные

Окно вкладки *Результаты расчёта* (Рисунок 2.5.13) функционально поделено на две части. В верхней части указывается перечень произведённых проверок. Для каждой проверки выводятся её наименование, символическое представление расчётного неравенства, по которому она производится, численное представление результата, значок, обозначающий удовлетворяется проверка или нет, а также пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым произведена проверка.

В нижней части окна приводится подробная информация по значениям величин, входящих в текущую выделенную пользователем проверку. Для каждой величины приводятся: её наименование, обозначение, численное значение, единицы измерения и пункт или формула соответствующих норм расчёта, по которым эта величина определена.

Результаты

Общие данные | Характеристики полного сечения | **Результаты расчёта**

Расчёт	Неравенство	Значение	Пункт (форм
Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия (Eq. H1.2-1)	$\frac{\bar{P}}{P_c} + \frac{\bar{M}}{M_c} \leq 1.0$	0,837 < 1	✓ Section H1.2
Проверка гибкости элемента	$(KL/r)_{max} \leq (KL/r)_{lim}$	128,3 < 200	✓

< >

Совместное действие осевого сжатия и изгиба. Проверка по формуле взаимодействия Eq. H1.2-1

Описание	Обозн.	Значение	Ед. изм.	Пункт (формула) AISI S100
Сжимающее усилие	P	31,00	kips	
Изгибающий момент	M	9,800	in·kips	
Напряжения потери устойчивости по изгибной форме	F_{ef}	17,7	ksi	
Напряжения потери устойчивости по крутильной форме	F_{et}	69,2	ksi	Eq. E2.2-5
Напряжения	F_n	15,1	ksi	Eq. E2-2, Eq. E2-3
Площадь эффективного сечения	A_e	3,08	in ²	
Номинальная несущая способность при потере устойчивости	P_{nb}	46,44	kips	
Напряжения потери устойчивости формы сечения	F_d	10,53	kips	Eq. 2.3.1.3-2
Номинальная несущая способность при потере устойчивости формы сечения	P_{nd}	90,30	kips	Eq. 2.3.1.3-1
Номинальная несущая способность при сжатии	P_n	46,44	kips	
Коэффициент сопротивления	ϕ_c	0,85		
Несущая способность при сжатии	P_a	39,47	kips	H1.2
Момент сопротивления сечения для максимально сжатого волокна	S_f	8,36	in ³	F2.1

HTML Закрыть Справка

Рисунок 2.5.13 - Окно вывода результатов расчёта сжатых с изгибом элементов:
Результаты расчёта

По кнопке, расположенной внизу окна, пользователь может передать информацию о выполненном расчёте в Microsoft Excel® либо конвертировать результаты в формат HTML.

3. ПАРАМЕТРЫ

3.1. Параметры расчёта

Параметры расчёта доступны после выбора в главном меню *Настройки* → *Расчёт*. Вид окна *Расчёт* показан на Рисунке 3.1.1.

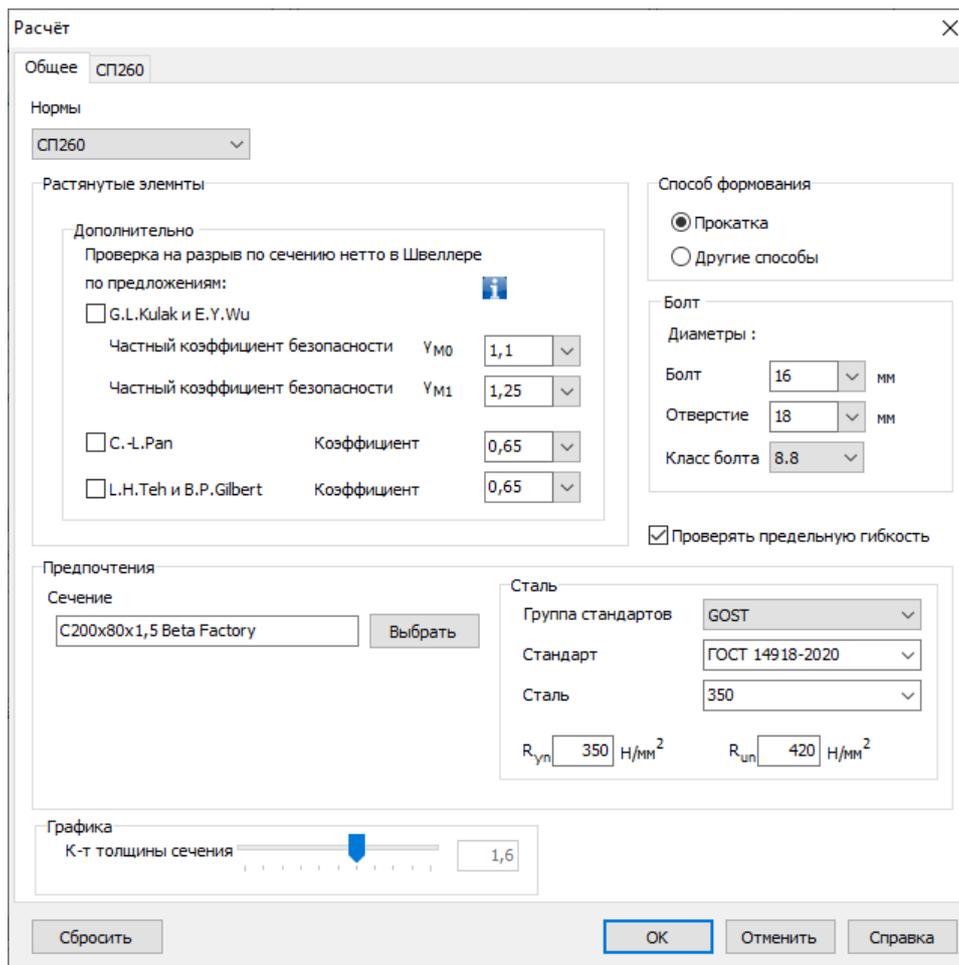


Рисунок 3.1.1 – Окно *Расчёт* пункта меню *Настройки*

На вкладке *Общие* доступен выбор норм расчёта. Реализованы нормы: СП 260, EC3 и AISI S100. Также для растянутых элементов из швеллеров и двойных швеллеров дополнительно по критерию разрыва по ослабленному сечению в месте прикрепления возможен расчёт по методикам, предложенным рядом исследователями: G.L. Kulak и E.Y. Wu (Кулак и Ву) [31], C.L. Pan (Пан) [33], L. H. Teh, B.P. Gilbert (Тех и Джильберт) [34]. Чтобы включить в состав расчёта ту или иную методику, необходимо отметить её в поле *Дополнительно*. При этом пользователю предоставляется возможность с целью регулирования надёжности расчёта ввести коэффициенты надёжности для этих методик. С тем, чтобы это можно было сделать достаточно обоснованно в *Томе II Документации к программе CFSteel «Верификационные расчёты»* [28] приведены многочисленные результаты расчётов, в том числе и по данным методикам, которые сопоставлены с результатами по нормам

проектирования и с экспериментальными результатами. Причём приводятся нормативные значения несущей способности (без коэффициентов) и расчётные значения (с учётом коэффициентов). Сопоставление результатов и выбор того или иного значения коэффициента безопасности позволит пользователю регулировать надёжность получаемых результатов.

Также на вкладке *Общее* выбирается *Способ формования* профиля, *Диаметр болтов* и соответствующий *Диаметр отверстий*. Отмечается или сбрасывается необходимость выполнения проверки элементов по предельной гибкости.

Кроме того, путём выбора из Библиотек профилей и сталей назначаются *Сечение – фаворит* и *Сталь – фаворит*, которые по умолчанию будут загружаться при первом входе в соответствующие окна ввода расчёта элементов.

В любой момент пользователь по кнопке *Сбросить* может вернуться к настройкам, принятым в программе по умолчанию.

На вкладке *СП260* (Рисунок 3.1.2) пользователь назначает параметры расчёта по соответствующим нормам.

Расчёт

Общее СП260

Растянутые элементы

Коэффициент условий работы для элемента γ_c 1

Коэффициент условий работы для сечения с отверстиями 1,1

Дополнительная проверка прочности сечения нетто в месте прикрепления по п. 7.7.2.4

Дополнительно проверить несущую способность по Рекомендациям ЦНИИПСК им. Мельникова

Сжатые элементы

Прочность сечения нетто

Коэффициент условий работы для сечения с отверстиями согласно п. 5.4.1 1

Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба

Вычислять по СП

Вводить значение M_{cr}

Формула взаимодействия

п. 7.7.10.3 (7.99), (7.100)

п. 7.7.10.5 (7.101)

Оба

Сжатие с изгибом

Вводить расчётные длины элемента

Вводить коэффициенты приведения длины

К-ты взаимодействия k_{ij} в 7.7.10.3

Метод 1

Метод 2

Предпочтения

Коэффициент условий работы для элемента γ_c (устойчивость) 1

Коэффициент условий работы для элемента γ_c (прочность) 1

Выполнять проверку прочности сечения нетто

Сбросить OK Отменить Справка

Рисунок 3.1.2 – Вкладка *СП 260* окна *Расчёт*

Для расчёта растянутых элементов определяется *Коэффициент условий работы элемента* γ_c , а также *Коэффициент условий работы для сечения с отверстиями*, при назначении которого рекомендуется учитывать Таблицу 1 [3]. Также можно включить или отключить расчет прочности сечения, ослабленного отверстиями для болтов, в месте прикрепления элементов, выполненных из швеллера, С-образного профиля или двойных сечений из этих профилей, по п.7.7.2.4 [2]. В данном случае расчёт производится в

предположении, что элемент состоит из двух уголков, прикрепляемых одной полкой болтами. Кроме того, дополнительно к расчёту смятия по СП пользователь может добавить расчёт по критерию смятия рассчитываемого элемента в соответствии с методикой, изложенной в Руководстве ЦНИИПроектстальконструкция [35].

Применительно к сжатым элементам пользователь назначает следующие параметры. При проверке прочности сечения, ослабленного отверстиями для болтов (сечение нетто), учитывать *Коэффициент условий работы для сечения с отверстиями по п.5.4.1* [2]. В том числе, значение *1.0*, что означает отказ от учета повышения предела текучести в зоне отверстий.

При расчёте сжатых элементов пользователю предоставляется возможность выбрать: вычислять M_{cr} по СП 260 (Приложение Г [2]) или вводить непосредственно значение M_{cr} в окне ввода исходных данных для расчёта центрально сжатых (п.2.3.2.2) и сжатых с изгибом стержней (п.2.3.3.2).

При расчёте устойчивости сжатых с изгибом элементов пользователю предоставляется возможность выбора выполнять расчёты по п.7.7.10.3 [2] (формулы (7.99) и (7.100)) или по п. 7.7.10.5 [2] (формула (7.101)). Также возможен расчёт по обоим вариантам (*Рекомендуется*). При включении в расчёт п.7.7.10.3 необходимо выбрать, каким образом следует вычислять коэффициенты взаимодействия k_{ij} : по Таблице В.1 [2] (*Метод 1*) или по Таблице В.4 [2] (*Метод 2*).

В зависимости от предпочтений пользователя можно настроить удобное определение расчётных длин элемента: вводить непосредственно значения расчётных длин или вводить коэффициенты приведения длины.

Также на вкладке можно задать значения – фавориты для *Коэффициента условий работы при расчёте на устойчивость* и *Коэффициента условий работы при расчёте на прочность*.

При выборе норм *ЕС3* пользователю необходимо выбрать Национальное Приложение соответствующего государства, в соответствии с которым следует выполнить расчёты или выбрать основной текст норм *СЕН ЕС* (Рисунок 3.1.3).

На вкладке *Общие данные* пользователь выбирает какое значение предела текучести принимать при вычислении расчётной несущей способности растянутого элемента по прочности сечения брутто $N_{tg,Rd}$ (2.4.2) (уравнение (6.1) [6]): предел текучести стали исходной заготовки f_{yb} или средний предел текучести f_{ya} по сечению с учётом упрочнения стали в местахгиба (п.3.2.2 [6]).

В действующей редакции Еврокодов [5,6] отсутствует методика определения упругого критического момента потери устойчивости плоской формы изгиба M_{cr} . В связи с этим, при расчёте сжатых элементов пользователю предоставляется возможность выбрать, вычислять M_{cr} по [36] или вводить непосредственно значение M_{cr} в окне ввода (п.2.4.4.2). В расчёте сжатых с изгибом элементов M_{cr} всегда вычисляется по [36].

Также пользователь может выбрать, какую методику применять для расчёта устойчивости сжатых с изгибом элементов: по п.6.2.5 (формула взаимодействия (6.36)) [6] или по п.6.3.3 (формулы взаимодействия (6.61), (6.62)) [5]. Возможен вариант расчёта по обоим методикам (*Рекомендуется*).

ЕС3 допускает два альтернативных варианта определения эффективного сечения швеллера в части местной устойчивости поясов: а) путём отбрасывания неэффективной части пояса (п.5.5.2 [6]); б) путём редуцирования толщины части пояса (Приложение D [6]). Пользователю также предоставляется возможность выбора между этими вариантами.

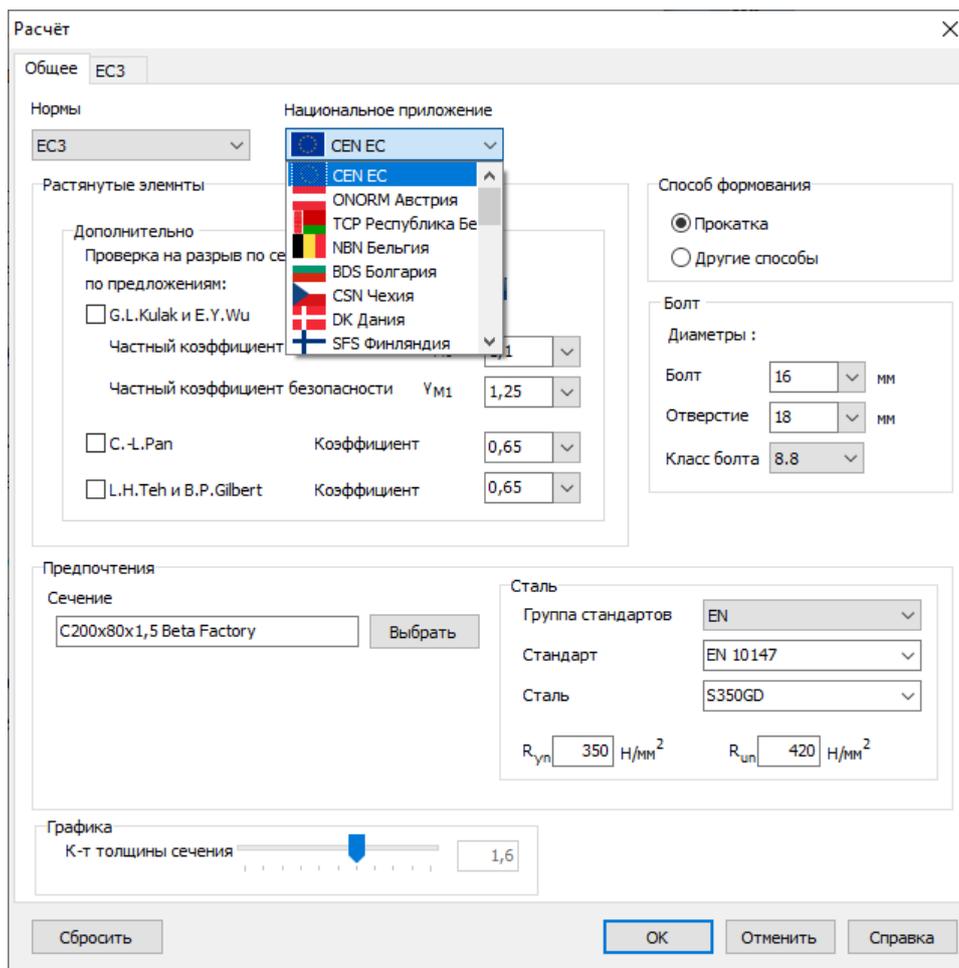


Рисунок 3.1.3 – Вкладка *Общее*

В программе предусмотрено два варианта определения расчётных длин при расчёте сжатых с изгибом элементов: а) непосредственный ввод расчётной длины и б) ввод геометрической длины и коэффициента приведения с дальнейшим вычислением расчётной длины программно путём их перемножения. Пользователь может выбрать удобный для себя вариант. При расчёте сжатых элементов всегда применяется второй вариант.

Пользователь может включить в состав расчёта (или исключить) проверку прочности ослабленного отверстиями сечения нетто при расчёте на сжатие. Данный выбор имеет смысл только в том случае, если введены параметры сечения нетто в окне ввода. Для растянутых элементов проверка прочности сечения нетто производится всегда.

На вкладке *Национальное приложение* (Рисунок 3.1.5) пользователь может определить значения параметров, относящихся к компетенции Национальных приложений (см. п.2.4.2). Данный сервис позволяет, в том числе, поддерживать значения Национально Определяемых Параметров в актуальном состоянии. Кроме того, инженер имеет возможность назначить новый пользовательский набор Параметров.

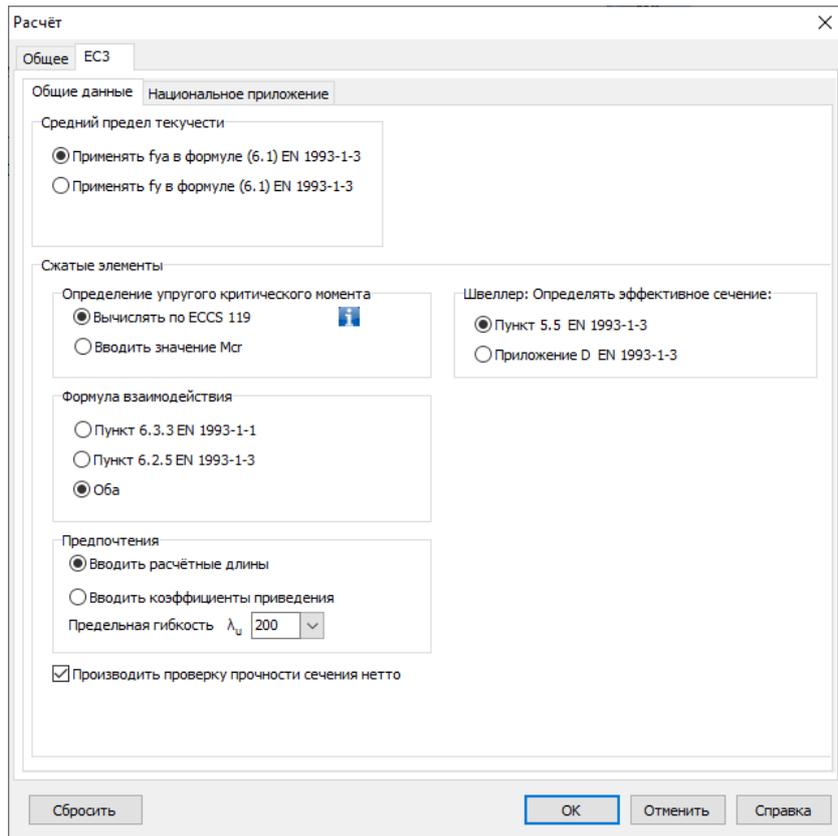


Рисунок 3.1.4 – Вкладка *Общие данные*

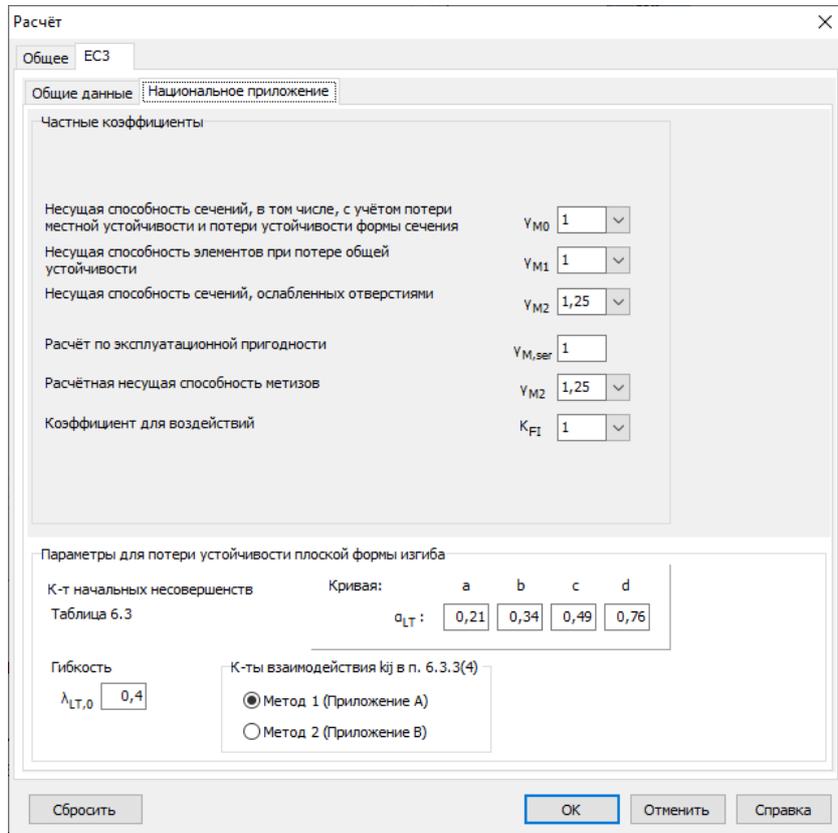


Рисунок 3.1.5 – Вкладка *Национальное приложение*

На вкладке *AISI* пользователь может выбрать, каким методом (ASD, LRFD или LSD) производить расчёт [24,25]. В нормах [24] при расчёте прочности сечения нетто с учётом ослабления его отверстиями для болтов в расчёт принимается диаметр отверстия, увеличенный на 2 мм относительно номинального значения. В нормах [25] такое указание отсутствует. В программе пользователю предоставляется возможность выбора: добавлять или не добавлять 2 мм к номинальному диаметру. Несущая способность растянутого элемента по критерию смятия в зоне болтов в месте прикрепления (п.2.5.1.1) при расчёте по нормам AISI зависит от наличия или отсутствия шайб под гайкой и головкой болта. На данной вкладке пользователю предоставляется возможность выбора конструктивного решения соединения: с шайбами или без них. Также определяется, какое значение предела текучести F_y принимать в расчёт по несущей способности элемента по прочности сечения брутто P_{ign} (п.2.5.1.1): предел текучести стали исходной заготовки F_y или средний предел текучести F_{ya} по сечению с учётом упрочнения стали в местахгиба (п.А3.3 [25]).

На панели *Потеря устойчивости плоской формы изгиба* для двойных сечений можно выбрать метод для вычисления упругих напряжений потери устойчивости плоской формы изгиба F_{cre} : метод (а) или метод (b) (п. F2.1.1 [25]).

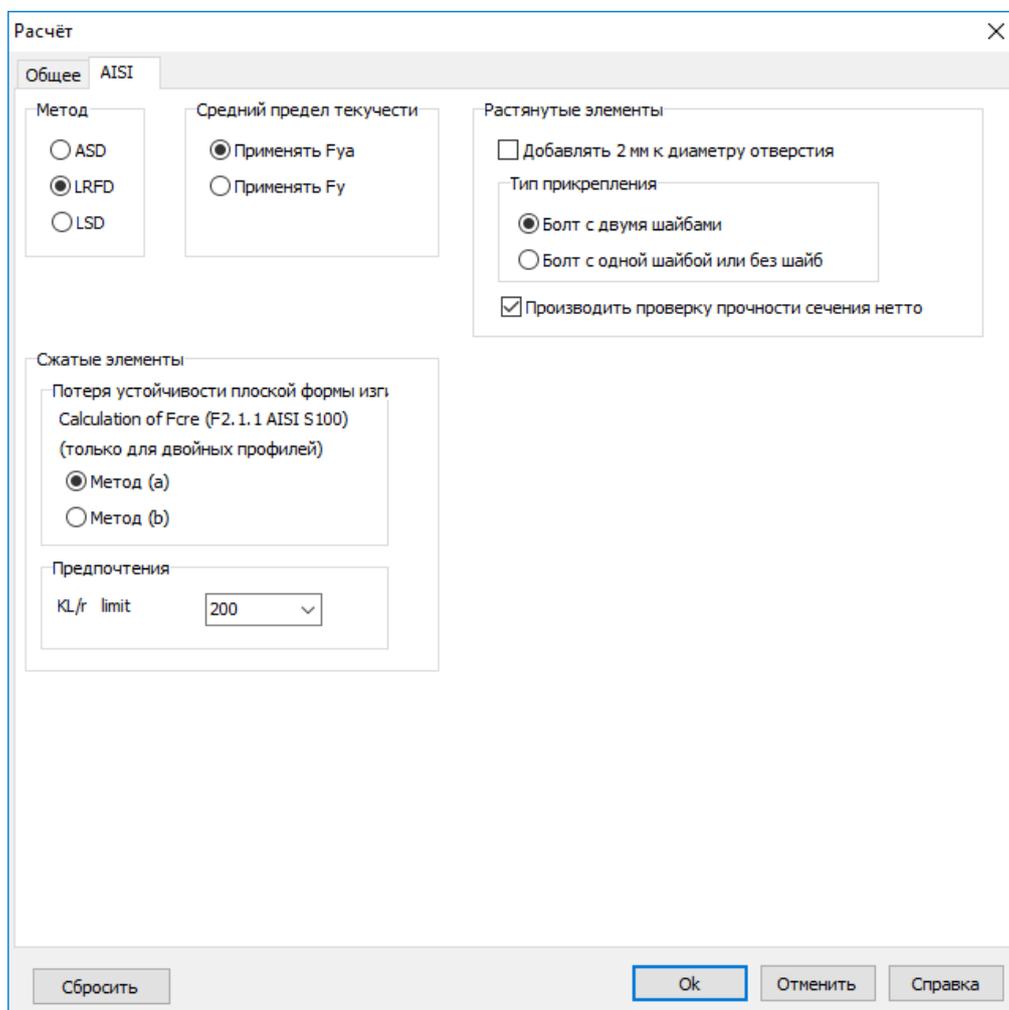


Рисунок 3.1.6 – Вкладка *AISI* окна *Расчёт*

3.2. Единицы измерения и количество десятичных знаков

Пользователь может выбрать единицы измерения вводимых и выводимых величин. Данный сервис доступен после выбора *Настройки* → *Единицы измерения*. Вид появляющегося окна показан на рисунке 3.2.1.

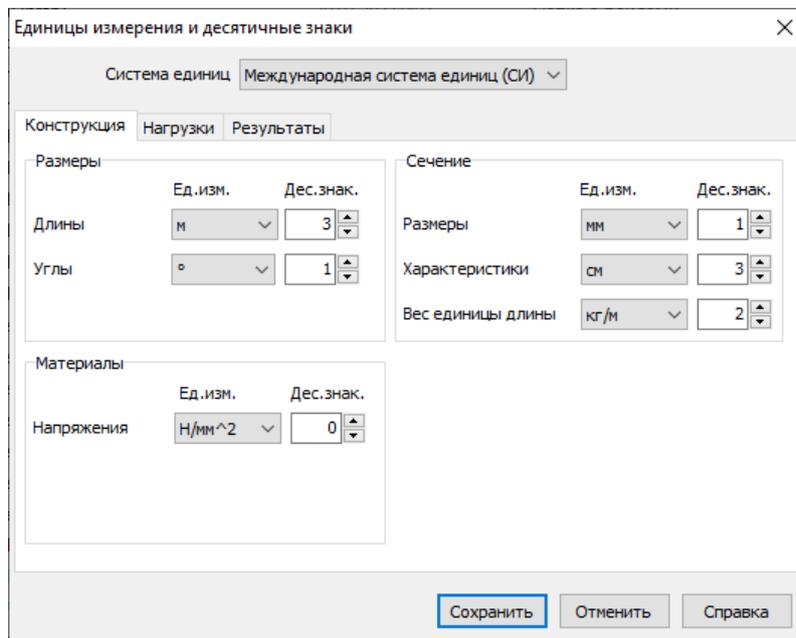


Рисунок 3.2.1 – Окно *Единицы измерения*

Прежде всего, выбирается система единиц: Международная система единиц СИ или Американская система единиц (U.S. customary).

Если Вы переключились на другую систему единиц измерения, необходимо перезапустить программу.

На вкладке *Конструкция* назначаются единицы измерения, связанные с конструктивным решением конструкции или конструктивного элемента. Это общие размеры (например, длина) и углы. Размеры поперечных сечений элементов, значения геометрических характеристик сечения, вес погонного метра профиля. Здесь же определяются единицы измерения напряжений, в том числе прочностных характеристик материала. На вкладке *Нагрузки* определяются единицы измерения сил, моментов и распределённых нагрузок. На вкладке *Результаты* определяются единицы измерения перемещений (например, прогибов), а также назначается количество знаков после запятой в *Отношениях* выводимых величин (например, $N_{Ed} / N_{t,Rd}$).

3.3. Параметры программы

Изменить параметры программы можно выбрав *Настройки* → *Программа*. В результате появляется окно, показанное на рисунке 3.3.1.

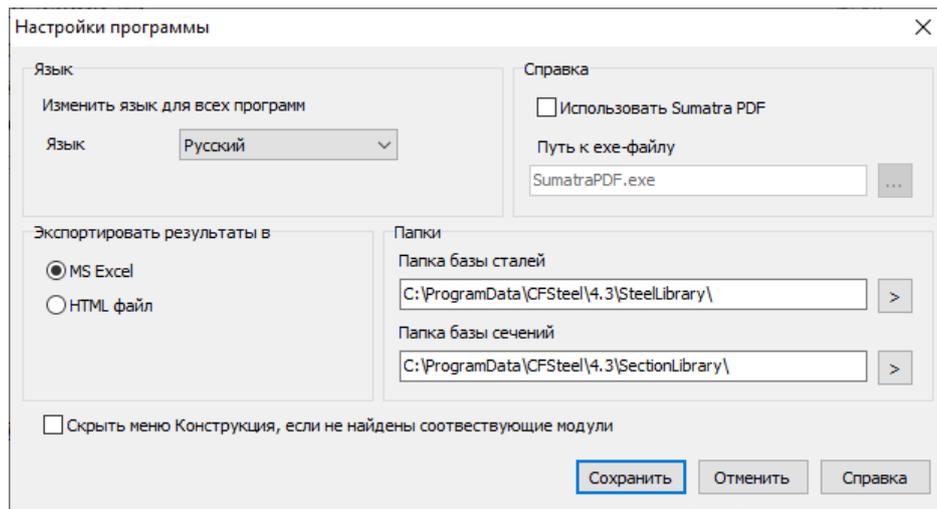


Рисунок 3.3.1 – Окно *Параметры программы*

В данном окне можно выбрать *Язык* интерфейса. Доступны Русский и Английский языки. При изменении языка обязательно следует перезапустить программу, после чего язык поменяется на выбранный. Также в данном окне показаны папки, в которых располагаются *Библиотека сталей* и *Библиотека сечений*.

В программе предусмотрен экспорт результатов расчёта в Microsoft Excel® или конвертация в формат HTML. В случае выбора второго варианта, пользователь может назначить состав конвертируемой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения / Стандартиформ, М.: 2015. – 14 с.
2. СП 260.1325800.2016: Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования (с изм. 1 и 2) / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.– 2016.- 115 с.
3. СП 16.13330.2017: Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* / Минрегион России.– 2017.
4. EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010: Eurocode – Basis of structural design/British standard, 2006
5. EN 1993-1-1:2005: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings / European Committee for Standardization CEN, Brussels, 2005
6. EN 1993-1-3:2006+AC:2009: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting / European Committee for Standardization CEN, Brussels, 2006
7. EN 1993-1-5:2006: Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-5: Plated structures elements / European Committee for Standardisation CEN, Brussels, 2006 (including EN 1993-1-3:2006/AC, 2009)
8. EN 1993-1-8:2005: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-8: Design of joints / European Committee for Standardization CEN, Brussels, 2005
9. ТКП EN 1990-2011: Основы проектирования строительных конструкций / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.: 2010.
10. ТКП EN 1993-1-1-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2009
11. Национальное приложение к ТКП EN 1993-1-1-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2009
12. ТКП EN 1993-1-3-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2010
13. Национальное приложение к ТКП EN 1993-1-3-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2010
14. ТКП EN 1993-1-5-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5. / Пластинчатые элементы / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2010
15. ТКП EN 1993-1-8-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчёт соединений / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2010

16. Национальное приложение к ТКП EN 1993-1-8-2009: Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчёт соединений / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.- 2010
17. СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011: Основы проектирования несущих конструкций / Астана. - 2016
18. СП РК EN 1993-1-1:2005/2011: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий / Астана. - 2016
19. Национальное приложение к СП РК EN 1993-1-1:2005/2011 Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий / Астана. - 2016
20. СП РК EN 1993-1-3:2006/2011: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов / Астана. - 2016
21. Национальное приложение к СП РК EN 1993-1-3:2006/2011: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов / Астана. - 2016
22. СП РК EN 1993-1-8:2005/2011: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчёт соединений / Астана. – 2016
23. Национальное приложение к СП РК EN 1993-1-8:2005/2011: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчёт соединений / Астана. – 2016
24. AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC, 2016
25. AISI S100-2016 North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, AISI, 2016
26. Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC
27. Commentary on North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, AISI, 2016
28. CFSteel v.4.3. Документация. Том II. Верификационные расчёты, 2022, [Электронный ресурс]. Систем. Требования: Adobe Acrobat Reader, URL: <http://www.cfsteel.ru>
29. CFSteel v.4.3. Документация. Том III. Расчёт ферм из стальных тонкостенных холодногнутых профилей. Руководство пользователя, 2022, [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader, URL: <http://www.cfsteel.ru>
30. Wu, Y., Kulak, G.L. Shear lag in bolted single and double angle tension members / Y. Wu, G.L. Kulak // Structural Engineering Report, No.187, June 1993
31. Kulak, G.L., Wu, E.Y. Shear lag in bolted angle tension members / G.L. Kulak, E.Y. Wu // Journal of Structural Engineering, ASCE, 123(9), 1997, pp. 1144-1152
32. LaBoube, R.A., Yu, W.W. Additional design considerations for bolted connections / R.A. LaBoube, W.W. Yu // Thirteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, St/ Louis, Missouri USA, October 17-18, 1996
33. Pan, C.L. Prediction of the bolted cold-formed channel sections in tension
34. Teh, L.H., Gilbert, B.P. Net section capacity of cold-reduced sheet steel channel braces bolted at the web / L. H. Teh, B.P. Gilbert // Journal of Structural Engineering, ASCE, 2013, pp. 740-747
35. Рекомендации по проектированию работающих на сдвиг болтовых соединений стальных строительных конструкций / ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова, М., 1990, 17 с.
36. Rules for member stability in EN 1993-1-1. Background documentation and design guidelines / European convention for constructional steelwork, ECCS Technical Committee 8 – Stability, № 119, 2006.- 259 p.
37. Worked Examples According to EN 1993-1-3 Eurocode 3, Part 1.3 / European convention for constructional steelwork, ECCS Technical Committee 7 – Cold-formed Steel, № 123, 2008.- 235 p.
38. Dubina D., Ungureanu V., Landolfo R. Design of Cold-formed Steel Structures / ECCS, 2012.- 654 p.

39. Wei-Wen Yu, LaBoube R.A. Cold-formed steel design / John Wiley & Sons, Inc., Fourth edition, 2010, 491 p.