

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С ПОДБОРОМ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Инструкция по эксплуатации

МИНСК
2014г.

Программное обеспечение "ССС" (статика стержневых систем) предназначено для статического расчета плоских стержневых систем с подбором профиля поперечного сечения для ферм (и любых прочих расчетных схем, которые создадите в самой программе или импортируете из Acad) из сортамента **прокатной стали** (двутавр, тавр, швеллер, уголок, парный уголок, труба, профиль гнутый замкнутый сварной квадратный и прямоугольный) и сортамента **пиломатериалов** и позволяет произвести унификацию стержней из всего перечня сортамента.

Исходными данными для статического расчета являются: расчетные схемы плоских стержневых систем, загрузки, закрепления и жесткости стержней, а **для подбора поперечного сечения** – тип сечения, предельные гибкости, коэффициенты приведения длин, расчетное сопротивление для стали, а для древесины так же класс условий эксплуатации, сорт древесины, класс длительности нагружения, температура воздуха, наличие пропиткой антипиренами и ослаблений в расчетном сечении. Результатом расчета являются узловые перемещения, усилия во всех стержнях конструкций (M, N, Q), подбор профиля поперечного сечения, вывод файла с расширением dxf со схемами и спецификацией.

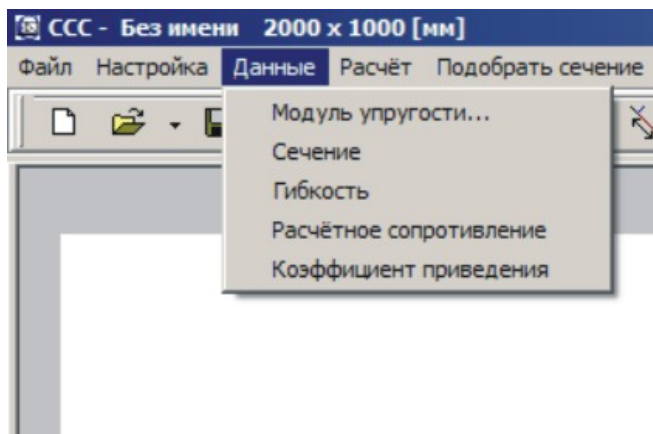


рис. 1

Главным достоинством "ССС" является организация работы пользователя в режиме активного графического диалога. Это позволяет:

- а) снизить количество ошибок пользователя при задании исходных данных;
- б) ускорить расчетный этап процесса проектирования;
- в) обеспечить наглядность при анализе результатов расчета.

Процесс расчета с использованием "ССС" состоит из следующих технологических этапов:

- 1) создание образа расчетной схемы;
- 2) расчет стержневой системы;
- 3) отображение усилий в виде эпюр и анализ результатов;
- 4) подбор профиля поперечного сечения;
- 5) унификация элементов конструкции.

"Создание образа расчетной схемы" состоит из следующих операций:

- масштабирование области эскизирования;
- эскизирование контура расчетной схемы (привычно создавать расчетную схему в Acad);
- описание связей;
- описание нагрузок;
- описание жесткостных характеристик стержней.

СРЕДА МАСШТАБИРОВАНИЯ

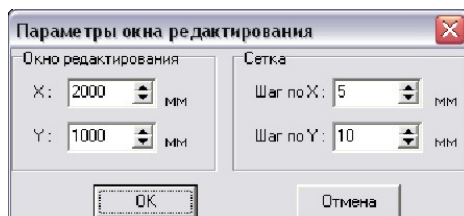


рис. 2

Чтобы изобразить эскиз расчетной схемы необходимо выбрать масштаб по каждой из двух осей. Раздельность масштабирования позволяет изображать на экране конструкции с любым соотношением габаритных размеров.

СРЕДА ЭСКИЗИРОВАНИЯ

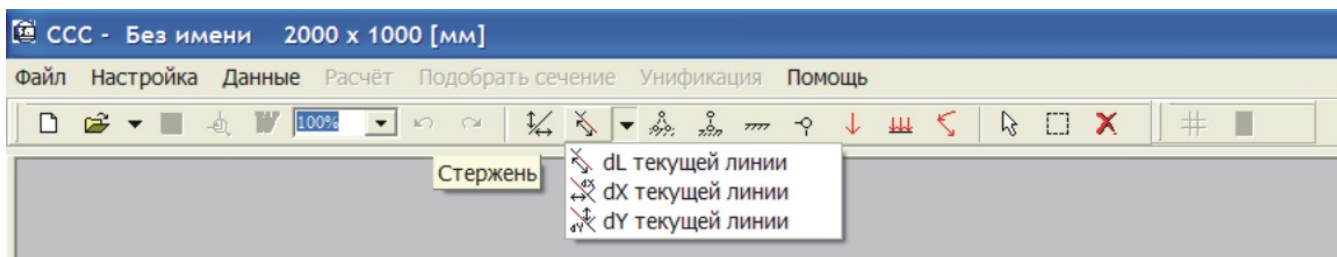


рис. 3

Чтобы нарисовать стержень, необходимо поместить курсор мыши в первую точку стержня, нажав-отпустив левую кнопку и перемещая курсор во вторую точку стержня нажав повторно левую кнопку мыши. Если следующий стержень примыкает к предыдущему, то достаточно теперь указать лишь его последующую точку и снова нажать левую кнопку мыши. Если же необходимо переместить курсор без отрисовки стержня, следует повторить команду «Стержень» или прервать рисование элемента клавишей «Esc», но теперь необходимо указывать первую точку. Построение расчетной схемы можно отрисовывать по координатам, правая декартова система координат, задавая в командной строке поочередно значения X и Y. Для следующей точки координаты приращения будут относительно последней точки. При нажатии клавиши «Ctrl» срабатывает команда «орто» (горизонтально или вертикально). Для точного построения расчетной схемы обратите внимание на привязки курсора к линии: **начало-конец элемента, край элемента, середина элемента**. Для точной привязки начала стержня на уже отрисованном следует пользоваться командами «dL, dX, dY от текущей линии». Выберите нужную команду, переместите курсор мыши на элемент, вдоль которого будете перемещать начальную точку рисуемого элемента и в командной строке укажите расстояние отступа от начала существующего элемента. Контроль расчетной схемы осуществляется визуально – происходит автоматическое присвоение стержням и узлам порядковых номеров, а длины стержней можно проконтролировать в информационной строке в низу экрана при наведении курсора мыши на элемент (рис.3.1). При построении схемы пользуйтесь рисованием вспомогательных стержней, которые затем удалите.

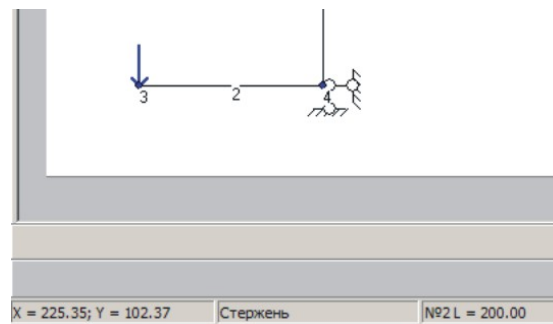


рис. 3.1

Удаление стержней происходит при их выделении «стрелкой» или захватив целиком несколько стержней рамкой. Выбранные стержни выделяются цветом выделения (красным) и при нажатии кнопки «Удалить» удаляются из расчетной схемы.

На одном экране можно изобразить несколько расчетных схем.

Для задания изгибной и продольной жесткости стержня необходимо кликнуть по выбранному стержню правой кнопкой мыши и задать момент инерции и площадь поперечного сечения стержня (модуль упругости материала задается в «Данные»).



рис. 4

После выполнения «Расчета» и «Подбора сечения» стержням **автоматически переписываются моменты инерции и их площади** в соответствии подобранных элементов и при повторном «Расчете» уже будут учтены эти изменения жесткостных характеристик.

СРЕДА НАЛОЖЕНИЯ СВЯЗЕЙ

Возможны следующие варианты опорных закреплений:

- шарнирно-подвижная опора (1 связь);
- шарнирно-неподвижная опора (2 связи);
- защемление (3 связи);

а также внутренние связи (шарниры).

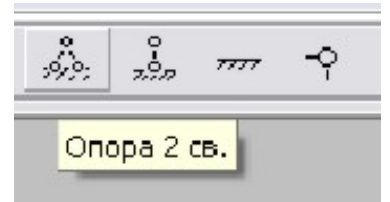


рис. 5

Для расстановки опорных закреплений необходимо выбрать нужную связь и наложить ее в соответствующий узел.

При описании закреплений следует учитывать следующие аспекты:

1. Шарнирно-неподвижную опору можно смоделировать двумя шарнирно-подвижными опорами.
2. Для улучшения восприятия отображаемой расчетной схемы опоры можно поворачивать, используя левую кнопку мыши при расположении курсора в нижней левой части опоры.
3. Для описания примыкающего шарнира необходимо использовать свойство стержня (см. рис.4) задавая установку шарнира в начале и в конце стержня.
4. В случае расстановки опорных закреплений на стержень, на котором уже размещена распределенная нагрузка и опора попадает в длину ее интенсивности, то распределенная нагрузка удаляется.
5. Для удаления связей используются кнопки выделения и удаления.



рис. 6

СРЕДА НАГРУЖЕНИЯ

Стержневая система может быть нагружена следующими силовыми факторами:

- сосредоточенной силой;
- сосредоточенным моментом;
- распределенной нагрузкой.

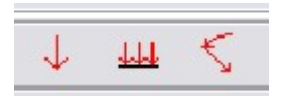


рис. 7

Для задания нагрузки необходимо выбрать соответствующую нагрузку и расположить ее на стержень. После того, как курсор мыши оказался примерно в нужной точке стержня, нажмите левую кнопку мыши. На экране появится форма для выбранного силового фактора.

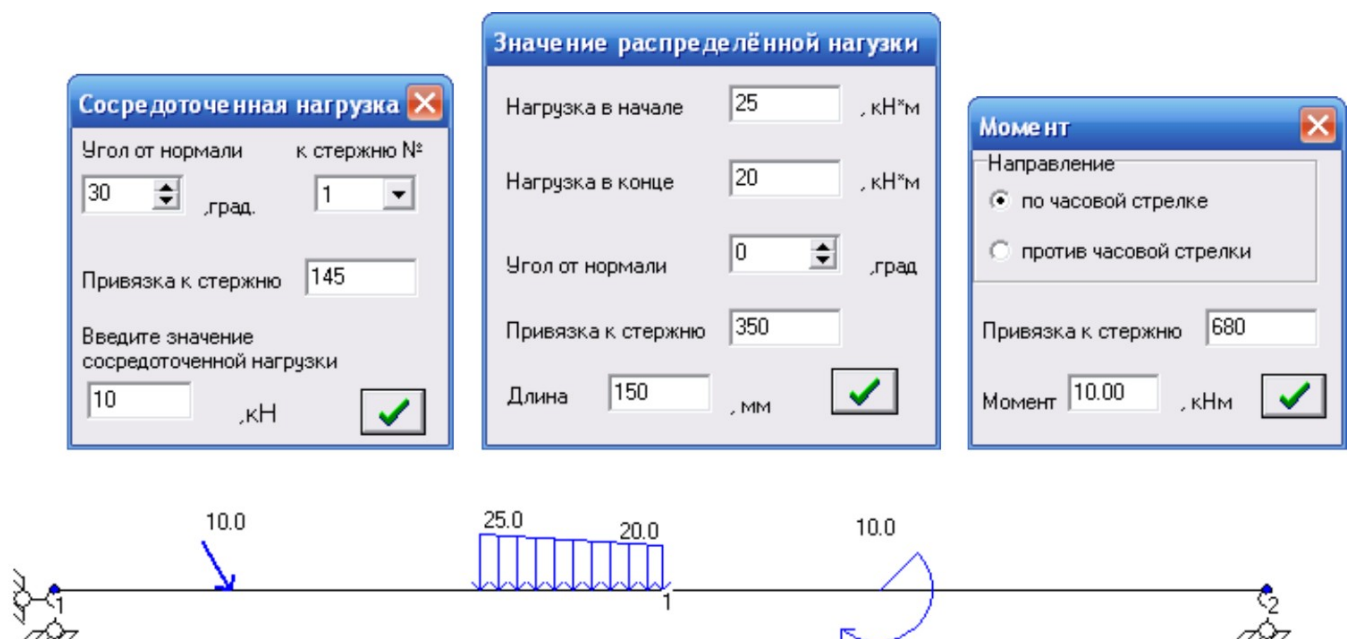


рис. 8

Для того чтобы задать сосредоточенный момент, необходимо указать его направление, величину и привязку к началу стержня. Расстояние до начала стержня подсвечивается цветом выделения (красным) при перемещении мышью обозначения момента.

При задании сосредоточенной силы задается угол отклонения (в градусах) вектора силы от нормали к стержню, величина силы и привязка к началу стержня.

При задании распределенной нагрузки указываются интенсивность в начальной и конечной точках (в кН/м), направление ее действия, привязка к началу стержня и длина участка.

Момент можно задавать с разной его принадлежностью: «момент принадлежит стержню» (задается наложением на стержень) и «момент принадлежит узлу» (задается наложением в узел, номер стержня и узла отображается в строке состояния, ниже командной строки). Причем в случае, когда «момент принадлежит стержню» нагрузка является узловой при значениях привязки к стержню $L=0.00$ или $L=$ длине стержня, а для чисто узловой нагрузки,

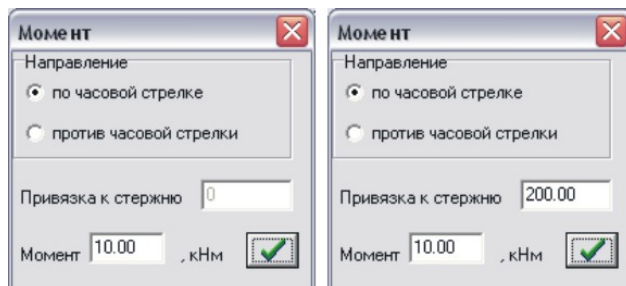


рис. 8.1

когда «момент принадлежит узлу» значение привязки к стержню не доступно для редактирования (см. рис 8.1).

При нагружении моментом, когда «момент принадлежит узлу», и при наличии в расчетной схеме стержней с шарнирным примыканием происходит поиск стержня без шарнирного примыкания. Для более точного отображения расчетной схемы рекомендуется нагружать «моментом, который принадлежит стержню».

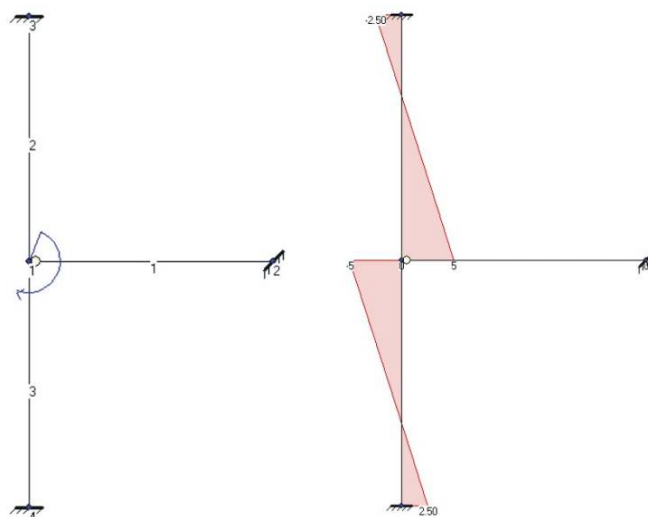


рис. 8.2

Для редактирования параметров нагрузок их формы вызываются нажатием правой кнопки мыши при наведении на нее курсора. Просмотр параметров нагружения отображается в информационной строке, как и для просмотра длины элемента (стержня), рис.8.3, но и надписывание величин нагрузок происходит на самой расчетной схеме после выполнения расчета «Расчет», рис. 8.4, что наглядно для отчета.

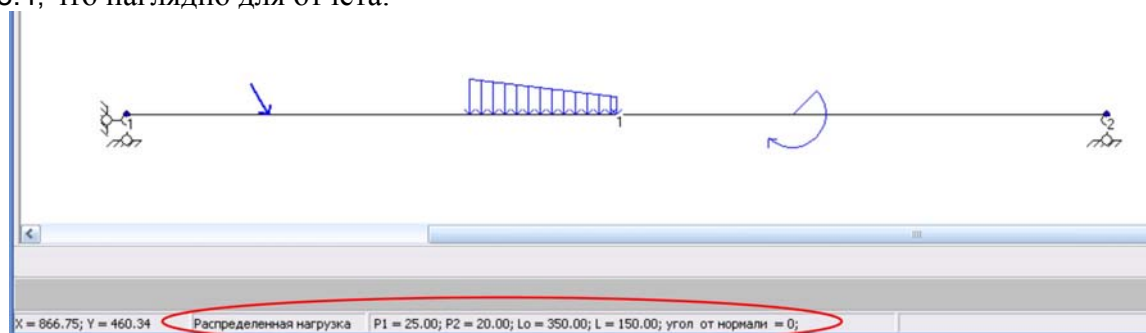


рис. 8.3

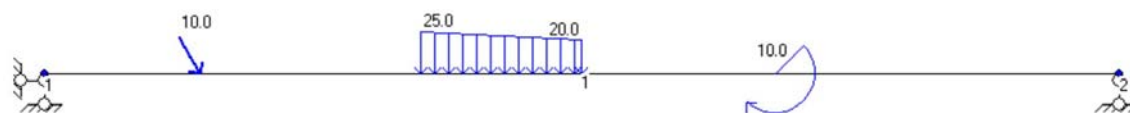


рис. 8.4

Чтобы удалить нагрузку используются кнопки выделения и удаления (см. рис.6).

ИМПОРТ из Acad

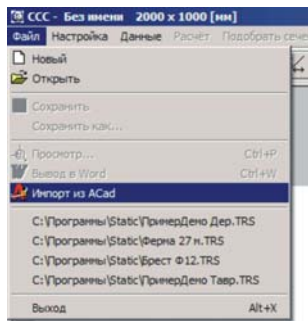


рис. 8.3

Функция «Импорт из Acad» упрощает создание расчетной схемы. Собственно расчетная схема создается в среде Acad, а нагрузка, связи и характеристики стержней задаются в ССС. В среде Acad расчетную схему следует вычерчивать в масштабе 1:1 и в «мм». Для правильного считывания отрезков при импорте для верхнего пояса нижеприведенной схемы, рис.8.4, следует в Acad-е чертить **отрезками, не полилинией**, от узла 1 до узла 2, от узла 2 до узла 3 и т.д. Для горизонтальных и вертикальных элементов разбиение на отдельные стержни автоматизировано.

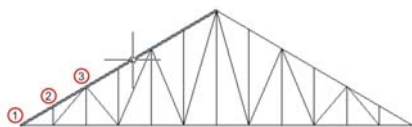


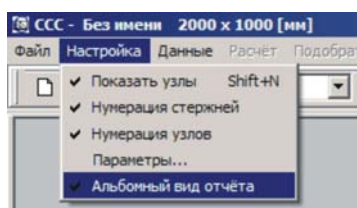
рис. 8.4

Внимание! Следите за количеством стержней и узлов в расчетной схеме, не допускайте при вычерчивании в среде Acad наложения отрезков друг на друга – приводит к ошибке при выполнении расчета!

В Acad-е следует сохранять схему присваивая файлу расширение *.dxf.

СРЕДА АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Для выполнения статического расчета необходимо нажать на «Расчет», становятся активными кнопки «*Предварительный просмотр*» (для просмотра на экране эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил), «*Вывод в Word*» (вывод исходных данных и результатов расчета в Word) и «*Подобрать сечение*» (по результатам статического расчета и заданным исходным данным производится подбор поперечного сечения стержней по прочности и гибкости).



При «*Выводе в Word*» формирование отчета осуществляется согласно ориентации страницы: **книжная** или **альбомная**. Книжная

ориентация в Word-е уже настроена файлом шаблона Normal.dot. А для настройки альбомной ориентации необходимо файл NormalAlb.dot, поместить в папку «Шаблоны».

Для этого выполните следующие шаги:

- скопируйте в буфер обмена файл NormalAlb.dot;
- выполните команды в Word-е (файл – сохранить как – тип файла – шаблон документа – вставить (правой кнопкой мыши в ++)).

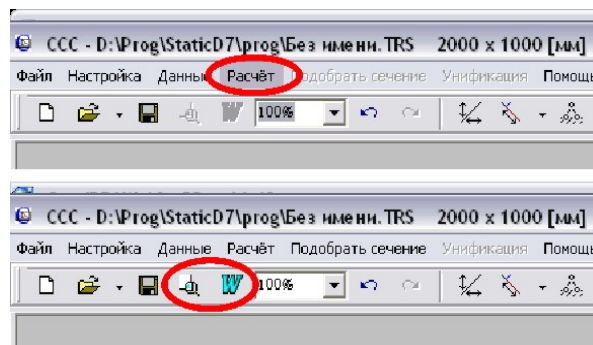
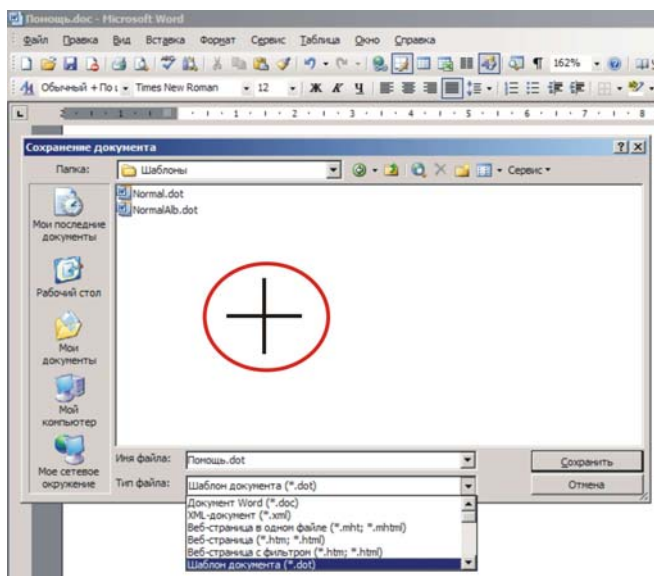


рис. 9

Для отображения на эпюрах силовых факторов, номеров узлов и стержней используются кнопки (см. рис 10):

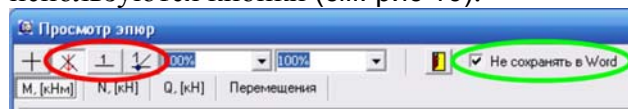


рис. 10

«Масштаб для эпюр» позволяет масштабировать эпюры, выводимые в Word, а кнопкой «Insert» с клавиатуры есть возможность **Включить/Выключить** надписывание значений на эпюрах (рис.11). Для отчета в Word происходит формирование изображений эпюр и расчетной схемы. При этом идет анализ изображения и «свободные» края отсекаются, что занимает некоторое время. Для быстрого выхода из «Просмотра эпюр» помечаем «Не сохранять в Word», что позволяет не создавать изображения для отчета и быстро выйти из режима просмотра эпюр.

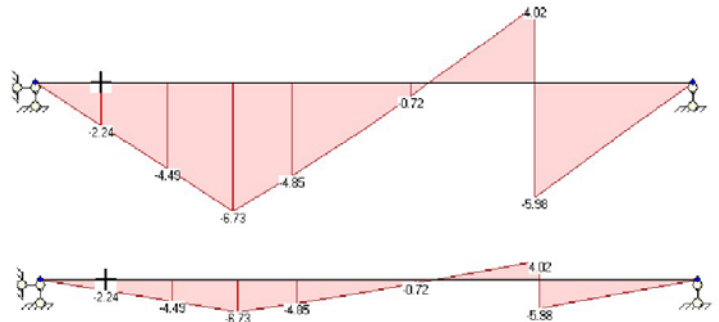
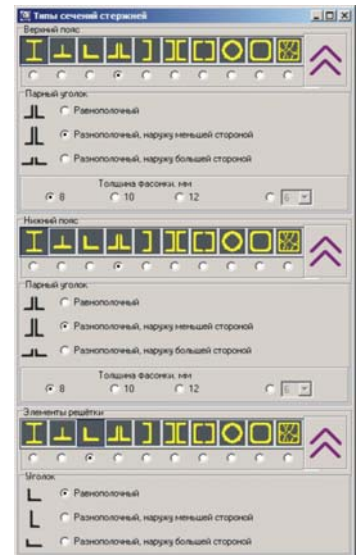


рис. 11

ПОДБОР ПРОФИЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Для подбора профиля поперечного сечения в падающем меню «Данные», (рис. 1), необходимо задать тип сечения для верхнего, нижнего поясов и прочих элементов решетки, их предельные гибкости, расчетные сопротивления и коэффициенты приведения длин. При выборе поперечного сечения из деревянных конструкций происходит перенастройка задаваемых исходных данных для подбора сечения (предельные гибкости и расчетные сопротивления).

Подбор поперечного сечения элементов возможен только после выполнения статического расчета. Одновременно с этим происходит определение принадлежности стержней к элементам конструкции, см. рис.12 (верхний пояс - ВП, нижний пояс - НП, опорные раскосы - ОР, прочие элементы решетки - X). Переопределение принадлежности осуществляется мышью простым перетаскиванием номеров элементов в самой таблице (левая) при нажатой левой кнопки. При этом в правой таблице для элементов происходит перерасчет расчетных длин в плоскости конструкции согласно коэффициентов расчетных длин μ . Так же предусмотрен ручной ввод значений, который имеет приоритет над табличным и они выделяются в таблице синим цветом (стержни 4 и 11). При сохранении данных задачи происходит сохранение и введенных вручную расчетных длин элементов. Снятие «синего» цвета произойдет лишь при удалении элемента из расчетной схемы и его новой отрисовкой (наверняка поменяется нумерация большинства элементов).



Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ВП	6	9	12	15	19	20	23	26	29	32	36	37			
НП	5	8	11	14	17	18	22	25	28	31	34	35			
ОР	38	49													
X	1	2	3	4	7	10	13	16	21	24	27	30	33	39	40

Стержень	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В плоскости	1170	1170	1620	1245	1500	1509	1320	1500	1498	1395	1500	1500	1470	1500	1498
Из плоскости	1300	1300	1900	3000	1500	1509	1467	1500	1498	1550	3000	1500	1633	1500	1498

рис.12

Результат подбора сечений представлен в табличной форме и вызывается нажатием на закладку «Унификация» - «Результат подбора сечений стержней», в которой можно переназначить подобранные по расчету элементы. Для этого переключитесь на закладку «Результат унификации сечений стержней», рис.13, и выбрав левой кнопкой мыши нужное сечение из перечисленных справа цветных квадратов заменяйте им элементы на нижней схеме. При замене сечения на меньшее по площади поперечного сечения будет выдаваться сообщение, но команда будет выполнена. При выполнении унификации и формировании отчета в Word создается таблица результатов унификации, в которой происходит перерасчет характеристик сечения унифицированных элементов. При недостаточной несущей способности элемента ячейка будет выделена красным цветом.

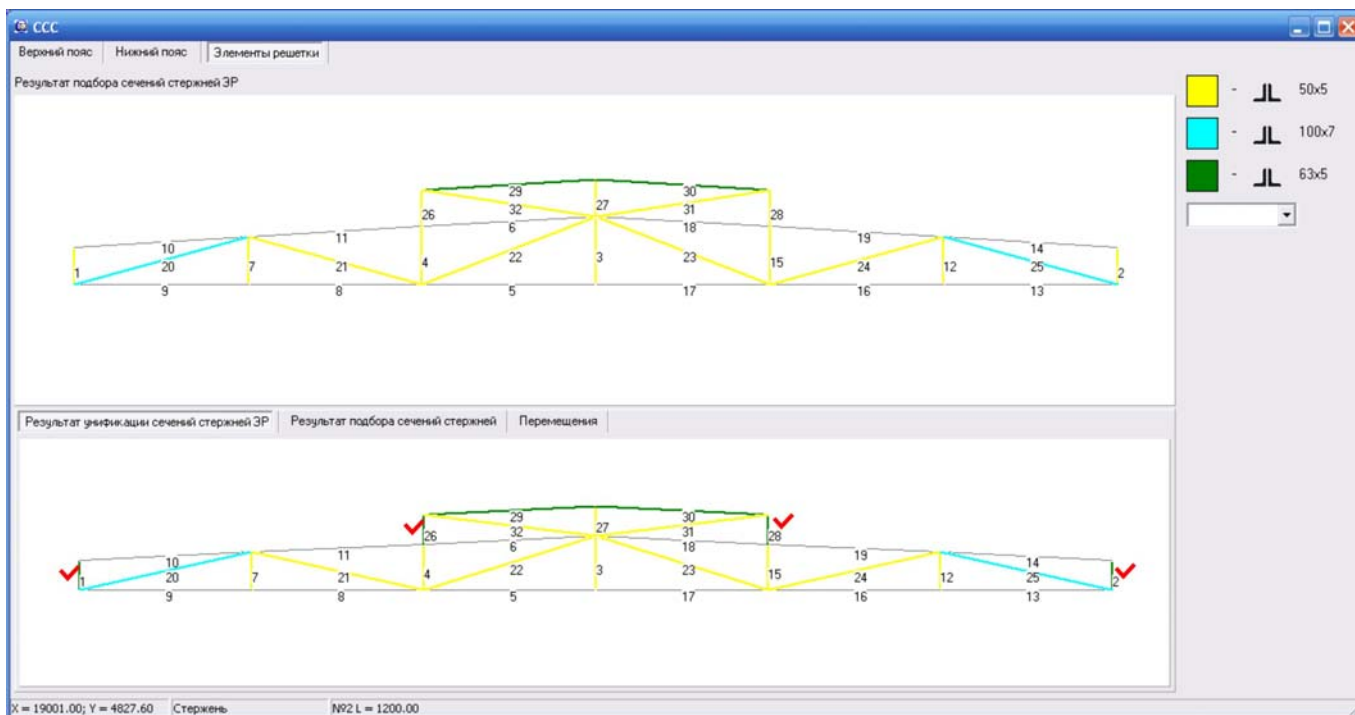


рис.13

Часта встречается ситуация, что выбранное сечение хочется заменить на другое, которого нет в подобранных для "Верхнего пояса", "Нижнего пояса" и "Прочие элементы". Для этого выберите нужное сечение в комбобоксе, оно добавится еще одной строкой. Выбирайте его и производите замену (на схеме заменил опорные раскосы с 100x7 на 100x8).



рис.14

Диапазон значений для стали $R_y [200..520]$ МПа.

Информация по сортаменту прокатной стали и пиломатериалов содержится в папке «Сортамент». Количество типоразмеров можно пополнять, заполняя соответствующие строки геометрическими характеристиками профилей. При отсутствии в наличии какого-нибудь типоразмера удалять его из сортамента необязательно, достаточно поменять "1" на "0", стоящий после маркировки:

75x50x5 **0** 050 075 05

В данной версии подбор поперечного сечения предназначен для стержневых систем, ферм, в которых значительны продольные усилия, а значения моментов и поперечных сил малы. Происходит подбор для стержней подвергнутых действию осевой силы с изгибом, т.е. подбираются стержни сжатые, растянутые, сжато-изгибаемые и растянуто-изгибаемые. Подбор изгибаемых элементов не производится, при нулевом значении продольной силы в элементе ему присваивается первый по сортаменту типоразмер.

Подбор сечений из **металлопроката** сжатых стержней производится с учетом коэффициента продольного изгиба φ по таблице 72 СНИП. Сжато-изгибаемые стержни подбираются с учетом приведенного эксцентриситета $m_{пр}$. Fie.dat – таблица коэффициентов для проверки устойчивости внецентренно-сжатых (сжато-изгибаемых) стержней в плоскости действия момента, см. таблицу 75 СНИП II-23-81*. Изгибающий момент принимается равным наибольшему моменту на стержне.

При значительной величине изгибающего момента и малой величине продольной силы $m_{пр} > 20$ (значения φ_e малы), что требует производить расчет на устойчивость. В расчете принимается меньшее из φ и φ_e .

Подбор сечений стержня при действии продольной растягивающей силы и момента (растяжение с изгибом) выполняется по формуле 50 СНИП II-23-81* $N/A + M_x * y / I_x \leq R * \gamma_c$,

$$A_{тр} = N / (R * \gamma_c - M_x * y / I_x).$$

Для изгибаемых элементов при изгибе в одной из главных плоскостей и $\tau \leq 0,9 * R_{ср}$ $M_{max} / c_1 * W_{нт} \leq R * \gamma_c$. Подбранное сечение проверяется на прочность от действия касательных напряжений по $\tau = Q_{max} * S / I * t_{ср}$. Кроме проверок прочности балки двутаврового и швеллерного сечений проверяется ее общая устойчивость при недостаточном закреплении сжатого пояса. Приняты формулы по таблице 77 СНИП для верхнего нагруженного пояса для сосредоточенной и равномерно распределенной нагрузок и сжатый пояс в пролете без закреплений. Для балок швеллерного сечения коэффициент φ_b определяется как для двутаврового сечения, а значение φ_1 умножается на 0,7.

Подбор сечений из **пиломатериалов** производится по СНБ 5.05.01-2000 «Деревянные конструкции» по первой группе предельных состояний для цельной древесины. Приняты следующие значения по умолчанию:

- класс условий эксплуатации – 2;
- сорт древесины – 2-ой;
- класс длительности нагружения – длительная;
- температура воздуха при эксплуатации конструкции – до +35 град.;
- пропитка антипиренами под давлением – Да;
- наличие ослаблений в расчетном сечении – Нет.

Расчетное сопротивление для сортов древесины принимается в зависимости от размеров подбираемого сечения согласно позициям а), б), в) пункта 1 Таблицы 6.5.

Для *сжатых и сжато-изгибаемых* элементов с гибкостью $\lambda \geq 35$ расчет ведется по деформированной схеме.

$$\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / (k_{m,c,y} * f_{m,y,d}) \leq 1 \quad (7.31)$$

$k_{m,c,y}$ – определяется как для шарнирно-опертых элементов при симметричных эпюрах изгибающих моментов синусоидального, параболического, полигонального и близкого к ним очертаниям по формуле $k_{m,c,y} = 1 - \sigma_{c,0,d} / (k_c * f_{c,0,d})$ (7.32)

При значениях расчетных напряжений $\sigma_{m,y,d} < 0.1\sigma_{c,0,d}$ выполняется проверка на устойчивость по формуле без учета напряжений от изгиба:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c * f_{c,0,d} \quad (7.11)$$

Для изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов проверка на устойчивость плоской формы деформирования по формулам 7.23 и 7.35 производится при $k_{inst} < 1$.

$k_{inst} = 140 * b^2 / (l_m * h) * k_f$, где $k_f = 1$ для всех форм эпюр изгибающих моментов ($k_{inst} < 1$ для досок при значительной разнице высоты и ширины сечения).

Растянутые и растянуто-изгибаемые элементы рассчитываются по формуле:

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} \leq 1 \quad (7.29)$$

При расчете на сдвиг элементов деревянных конструкций должно соблюдаться условие

$$\tau_{v,0,d} \leq f_{v,0,d}, \text{ где} \quad (7.25)$$

$$\tau_{v,0,d} = V_d * S_{sup} / (I_{sup} * b_d) \quad (7.26)$$

Результат подбора сечений стержней выводиться в табличной форме.

Minsk Engineering Soft

моб.: +375 29 650-68-81

e-mail: info@proektsoft.by

Максим Анатольевич Гришко