



➤ ПРИЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ДВУХВЕТВЕВОЙ КОЛОННЫ В SCAD++

В этой статье мы расскажем о развитии технологии моделирования двухветвевых колонн в программе SCAD++ версии 21.1.9.11, представленной автором ранее, в статье [1].

Перед разработкой расчетной модели двухветвевой колонны, как и для любой другой расчетной модели, следует определить, какие проверки необходимо произвести, какие требования должны быть выполнены, что должно быть приведено в качестве результатов расчета, в том числе и в текстовой части проектной документации согласно [2]. Кроме того, нужно изучить опыт расчета и проектирования аналогичных конструкций и особенности применяемого программного обеспечения, после чего можно быть уверенным в надежности расчетной модели и принятых на ее основе проектных решений. Ниже приведен перечень необходимых проверок для двухветвевой колонны по несущей спо-

собности (здесь мы ограничимся только проверками общей несущей способности и не будем рассматривать расчет узлов и проверки по прогибам):

- устойчивость внешней ветви в плоскости колонны;
- устойчивость внешней ветви из плоскости колонны;
- прочность внешней ветви;
- предельная гибкость внешней ветви в плоскости колонны;
- предельная гибкость внешней ветви из плоскости колонны;
- устойчивость внутренней ветви в плоскости колонны;
- устойчивость внутренней ветви из плоскости колонны;
- прочность внутренней ветви;
- предельная гибкость внутренней ветви в плоскости колонны;
- предельная гибкость внутренней ветви из плоскости колонны;
- устойчивость соединительной решетки;

- прочность соединительной решетки;
- предельная гибкость соединительной решетки;
- устойчивость стержня колонны в плоскости;
- предельная гибкость стержня колонны.

Также нужны данные по нагрузкам для расчета фундамента.

Общий вид расчетной модели двухветвевой колонны, которая позволяет выполнить необходимые проверки и получить необходимые результаты расчета, представлен на рис. 1. Ветви и соединительная решетка моделируются стержневыми элементами 5-го типа. Элементы соединительной решетки располагаются на необходимом расстоянии от ветвей по центрам тяжести элементов решетки, а для обеспечения совместной работы узлы решетки и ветвей соединяются специальными элементами твердого тела (тип 100). В статье [1] был рассмотрен способ соединения узлов

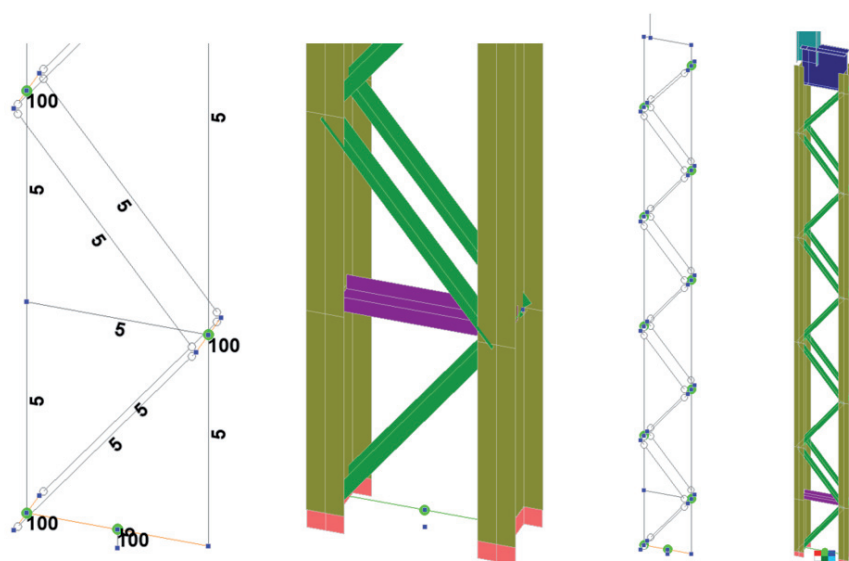


Рис. 1. Общий вид расчетной модели двухветвевой колонны

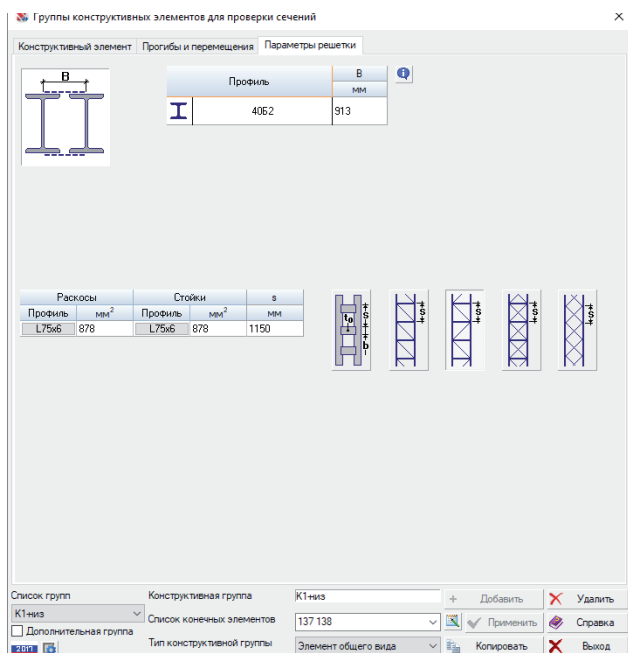


Рис. 2. Учет элементов решетки в конструктивной группе "пенька"

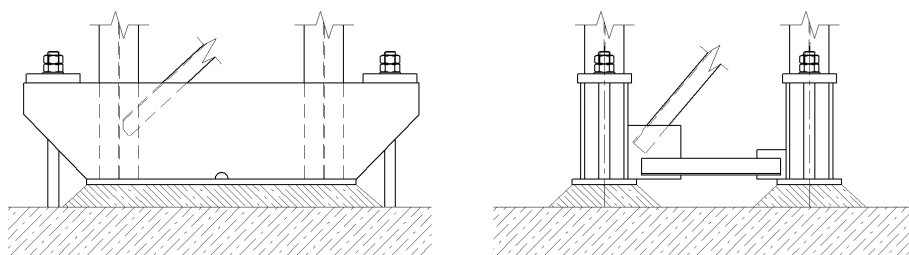


Рис. 3. Конструктивные решения со сплошной и раздельными траверсами в опорном узле двухветвевой колонны

решетки через объединение перемещений. Преимущество соединения узлов решетки с узлами ветвей с использованием элементов твердого тела заключается в том, что позволяет включить решетку в работу колонны из плоскости рамы. В узлах элементов соединительной решетки задаются шарниры по направлениям U_y и U_z . Для получения результатов проверки устойчивости и предельной гибкости стержня колонны, а также с целью получения нагрузок на фундамент, в нижней части задается короткий элемент длиной 100 мм, получивший в инженерной среде название "пенька". Нижний узел "пенька" закреплен по всем направлениям, кроме U_x (условный шарнир из плоскости). Жесткость "пенька" задается в виде составного сечения, а при создании группы конструктивных элементов указываются параметры соединительной решетки (рис. 2). Для обеспечения совместной работы "пенька" и ветвей его верхний узел соединяется с нижними узлами ветвей элементом твердого тела. Отметим, что при раздельных траверсах в нижних узлах ветвей нужно установить шарниры, а при сплошной траверсе (рис. 3) шарниры использовать не следует. Однако если есть сомнения, то можно рассмотреть две модели: с учетом и без учета шарниров в нижних узлах ветвей.

Расчетная длина стержня колонны в плоскости рамы, оборудованной мостовым опорным краном, обычно определяется по схеме двухступенчатой колонны согласно приложению И СП 16.13330.2017. Для определения расчетных длин ветвей из плоскости можно воспользоваться рекомендацией серии [4] и принять расчетные длины ветвей равными их геометрической длине, умноженной на коэффициент 0,8, учитывающий защемление колонны в уровне баз (это касается только конструктивного решения двухветвевых колонн с раздельными траверсами согласно рис. 3). Следует отметить, что коэффициент расчетной длины ветвей 0,8, а возможно и меньше, можно обосновать не только за счет их защемления в уровне баз, но и выполнив уточненный расчет по формуле (139) СП 16.13330.2017.

Все результаты расчета, кроме проверки устойчивости и гибкости стержня колонны, принимаются по коэффициентам использования элементов, моделирующих ветви и решетку, а устойчивость и гибкость стержня колонны принимается по соответствующим коэффициентам использования "пенька" (рис. 4).

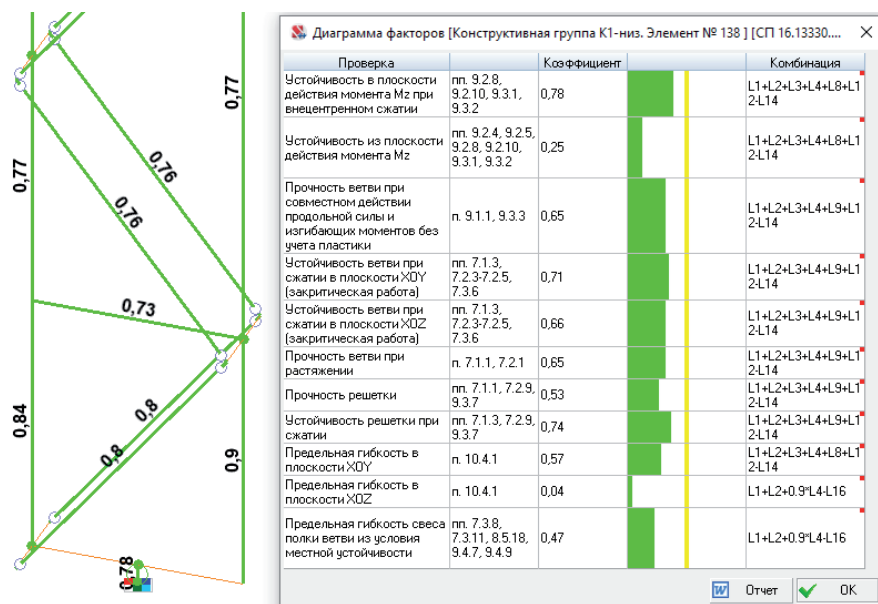


Рис. 4. Результаты расчета двухветвевой колонны при жестком сопряжении ветвей с элементом твердого тела

Результаты, представленные на рис. 4, получены при жестком сопряжении ветвей колонны с элементом твердого тела, что соответствует конструктивному решению опорного узла со сплошной траверсой, а на рис. 5 приведены результаты расчета при шарнирном сопряжении ветвей колонны с элементом твердого тела, что в большей степени соответству-

ет конструктивному решению опорного узла с раздельными траверсами. Достаточно часто можно встретить способ моделирования решетки составным сечением (рис. 6), который визуально выглядит вполне правдоподобно, но при этом не обеспечивает расчет в соответствии с требованиями норм. Дело в том, что согласно п. 10.1.4 СП 16.13330.2017

для сечений элементов из одиночных уголков при определении гибкости, если расчетная длина $l_{ef} \geq 0,85l$ (где l – расстояние между центрами ближайших узлов), то радиус инерции принимается по минимальному значению ($i = i_{min}$), а если $l_{ef} < 0,85l$, то радиус инерции принимается относительно оси уголка, перпендикулярной или параллельной плоскости колонны ($i = i_x$ или $i = i_y$) в зависимости от направления продольного изгиба. При этом расчетные длины определяются по табл. 24 СП 16.13330.2017 и в зависимости от направления продольного изгиба (в плоскости или из плоскости), а также от вида раскоса (опорный или прочий элемент решетки) могут принимать значения от 0,9l до l (п. 16 табл. 24 СП 16.13330.2017). Однако применение способа моделирования составным сечением обеспечивает проверку устойчивости при гибкости, определенной по радиусу инерции относительно оси, параллельной полке уголка, что не соответствует требованиям норм. На рис. 7 приведено сравнение результатов расчета при описанном выше правильном способе моделирования решетки, когда гибкость при расчете в SCAD++ определяется по минимальному радиусу инерции, и при неправильном способе моделирования составным сечением. Как видно, при моделировании составным сечением коэффициент использования получился в 1,43 раза ниже требуемого! Также при создании конструктивных групп не следует забывать о коэффициентах условий работы. По СП 16.13330.2017 для элементов решетки из одиночных уголков коэффициент условий работы равен 0,75 (таким образом учитывается наличие эксцентриситета), а для всех остальных элементов колонны при наличии крановых нагрузок – 1,05. В заключение следует отметить, что способ моделирования двухветвевой колонны одним стержнем целиком, даже с учетом решетки при выполнении проверок, имеет следующие недостатки:

- нормы предъявляют разные требования к расчетным длинам опорных и прочих раскосов, что усложняет идентификацию раскосов при выполнении проверок (в SCAD++ принято, что все раскосы – рядовые);
- как показывают тестовые расчеты, усилия в опорном раскосе превышают усилия в прочих раскосах при постоянном поперечном усилии, а методика определения усилий в раскосах по поперечным усилиям в стержне не позволяет это учесть;

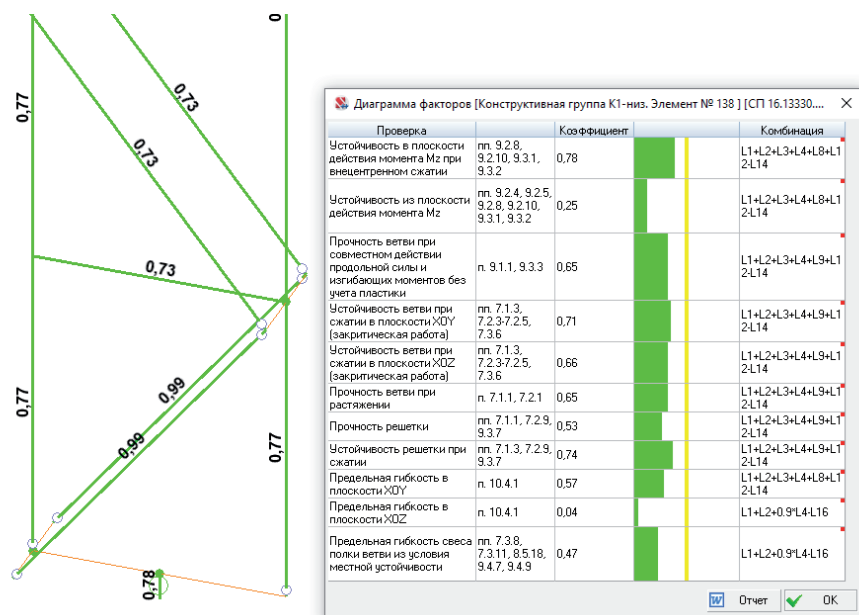


Рис. 5. Результаты расчета двухветвевой колонны при шарнирном сопряжении ветвей с элементом твердого тела

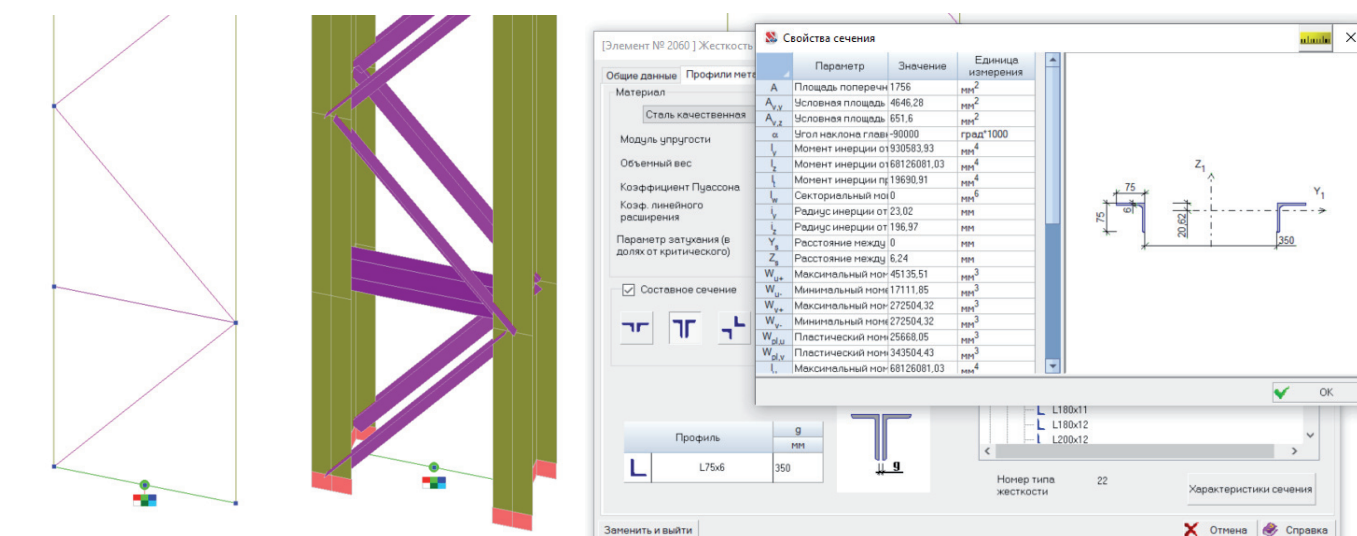


Рис. 6. Неправильный способ моделирования решетки составным сечением, который не соответствует требованиям СП 16.13330.2017

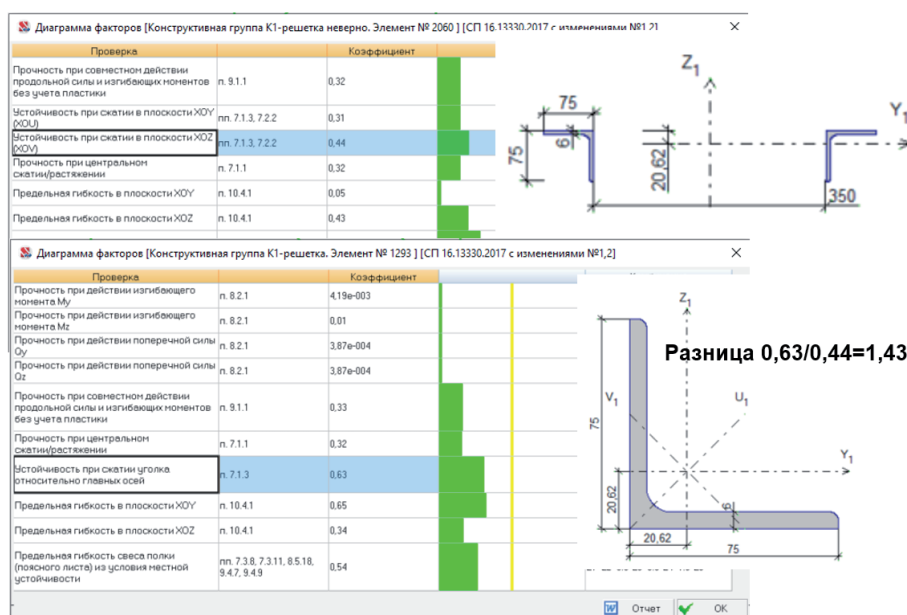


Рис. 7. Сравнение результатов расчета несущей способности элементов решетки при разных способах моделирования

- при моделировании одним стержнем необходимо принимать какие-то меры по учету дополнительных моментов во внешних ветвях от ветровой нагрузки, а при необходимости — и от стенового ограждения (см. рекомендации в серии [4]);
- не всегда (особенно для средних колонн) удастся обеспечить соединение элементов решетки с ветвями без расцентровки, что вызывает допол-

нительные моменты в ветвях (см. рекомендации в серии [4]) и не может быть корректно учтено при моделировании одним стержнем.

Описанные выше приемы комбинированного моделирования двухветвевой колонны (ветви и решетка плюс "пенёк" в нижней части) лишены всех перечисленных недостатков и позволяют получить не только все необходимые результаты расчета для обоснования надежно-

сти конструктивного решения и его соответствия требованиям норм, но и нагрузки на фундамент. Однако для подбора сечения двухветвевой колонны и быстрой оценки несущей способности сечения способ моделирования одним стержнем является вполне приемлемым и также может быть реализован в программе SCAD++ 21.1.9.11 путем задания параметров решетки в конструктивных группах элементов стальных конструкций.

Литература

1. Маляренко А.А., Теплых А.В. Технологии построения расчетных моделей и анализа результатов в системе SCAD Office: модели металлокаркасов. — CADmaster, № 4/2004, с. 93-97.
2. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию".
3. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
4. Серия 1.424.3-7. Стальные колонны одноэтажных производственных зданий, оборудованных мостовыми опорными кранами. Выпуск 1. — ЦНИИПСК им. Мельникова, 1985 г.

Андрей Теплых,
заместитель генерального директора
по маркетингу
ООО НПФ "СКАД СОФТ"
E-mail: ta@scadsoft.ru
Сайт компании: www.scadsoft.com