

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В СРЕДЕ ПК SCAD OFFICE



В практике строительного проектирования металлических конструкций (МК), как правило, используются общепринятые конструктивные решения узлов. Типовыми являются шарнирные или жесткие варианты оголовков и баз колонн в зависимости от схемы сооружения. Работоспособность узла обеспечивается работоспособностью отдельных элементов конструкции и их соединений (болтовых или сварных). Для проверки конструктивного решения производят серию проверок напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов, определенного по величинам самых невыгодных сочетаний усилий [1]. Эти проверки реализуются в алгоритмах современных программных комплексов, которые применяются для экспертизы и проектирования наиболее распространенных типов узлов. Они позволяют большую часть рутинных вычислений

передать компьютеру и автоматически подбирать рациональные решения, соответствующие заданным условиям, конструктивным и нормативным требованиям [2]. Задачей этой статьи является создание конечно-элементной модели узлов МК с целью анализа действительного НДС элементов и сравнение полученных результатов с расчетами по формулам СП. Объектами исследования являлись элементы однопролетной рамы: полка и стенка балки – опорное ребро балки – оголовок колонны – стержень колонны – траверса базы – опорная плита – бетон фундамента (рис. 1). Как правило, упрощение расчетной схемы приводит к изменению нагрузки на элемент. Например, нагрузка от стенки передается на опорное ребро балки по всей высоте, однако в расчетной схеме принимается стойка, нагруженная в верхнем узле [3, п. 7.12].

Траверса прикрепляется к полке колонны двумя швами и работает как консоль (или же неразрезная балка) от отпора бетона с соответствующих грузовых площадей. Опорная плита работает как пластина на упругом основании, воспринимающая давление от ветвей траверсы и ребер. Опыты показали, что давление на фундамент распределяется неравномерно, с пиками в местах передачи нагрузки. Однако для простоты расчета давление под плитой принимается как равномерно распределенное. Плиту рассчитывают как пластину, нагруженную снизу равномерно распределенным давлением фундамента и опертую на элементы сечения стержня и базы колонны (ветви траверсы, диафрагмы, ребра и т.п.) [1]. Выбор альтернативной расчетной схемы позволяет добиться экономии материала и больше соответствует реальной работе элементов конструкции. Одной из задач являлось создание вариантных моделей

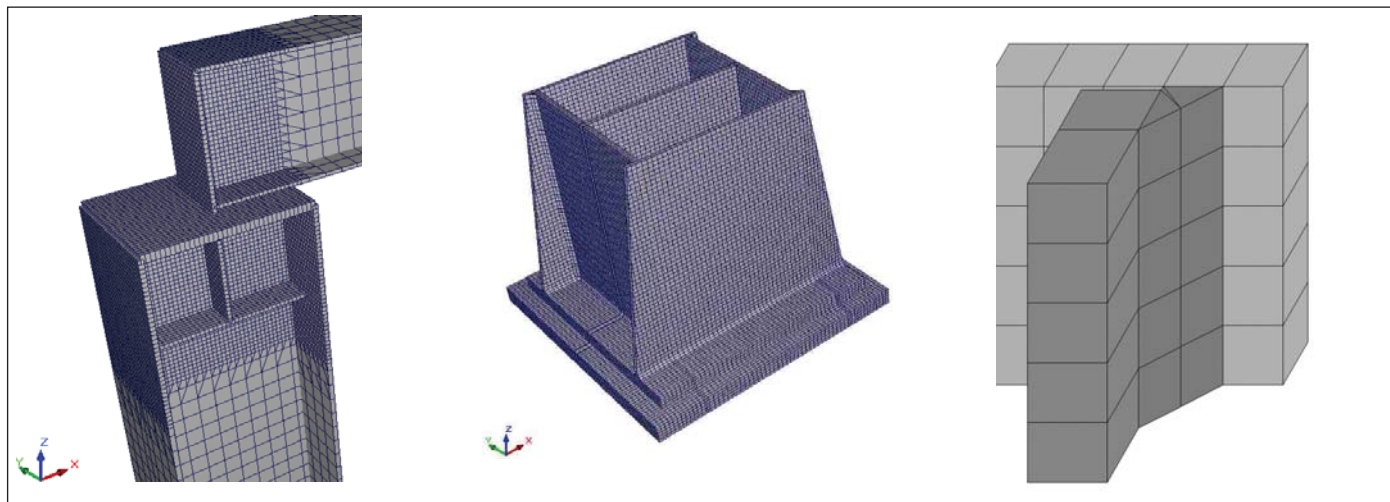


Рис. 1. Визуализация моделей

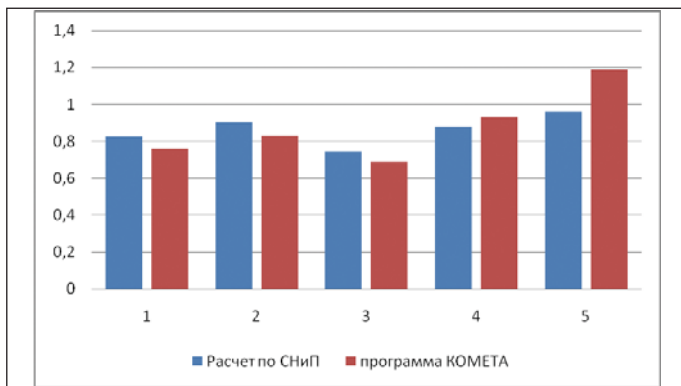


Рис. 2. Диаграмма сравнения, столбцы 1-5 – факторы прочности

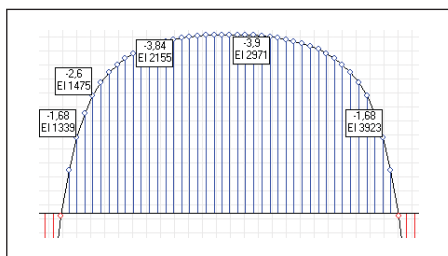


Рис. 4. Эпюра  $M_y$  для участка опорной плиты, опертого на четыре контура,  $\text{кН}\cdot\text{м}/\text{м}$

узлов с использованием богатой библиотеки конечных элементов (КЭ): плоские элементы – пластины, шести- и восьмиузловые КЭ – призмы и параллелепипеды; а также их комбинаций.

Рассматривалась эффективность принимаемых допущений и их соответствие реальной работе элементов.

Детальное моделирование базы производилось в двух вариантах: с использованием объемных шести- и восьмиузловых конечных элементов, а также плоских оболочечных КЭ. Бетонное основание фундамента в первом случае имитировалось с использованием восьмиузловых объемных элементов совместно со связями конечной жесткости, и назначением коэффициентов упругого основания во втором. Рама для исследования оголовка создавалась из оболочечных КЭ.

В целом результаты ручного расчета по СП и экспертизы запроектированного узла с использованием программы КОМЕТА оказались сопоставимы (погрешность в пределах 10%). На рис. 2 представлена диаграмма сравнения по факторам прочности различных элементов и соединений.

Для участка опорной плиты, опертого на три стороны, принимаемой расчетной схемой является консоль. На рис. 3 показана эпюра моментов в расчетном сечении по результатам расчета модели методом конечных элементов.

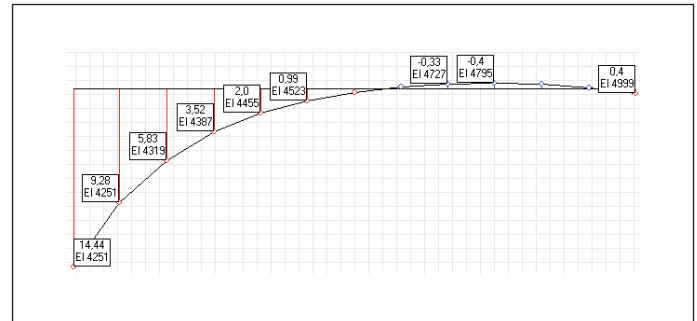


Рис. 3. Эпюра  $M_y$  для участка опорной плиты, опертого на три контура,  $\text{кН}\cdot\text{м}/\text{м}$

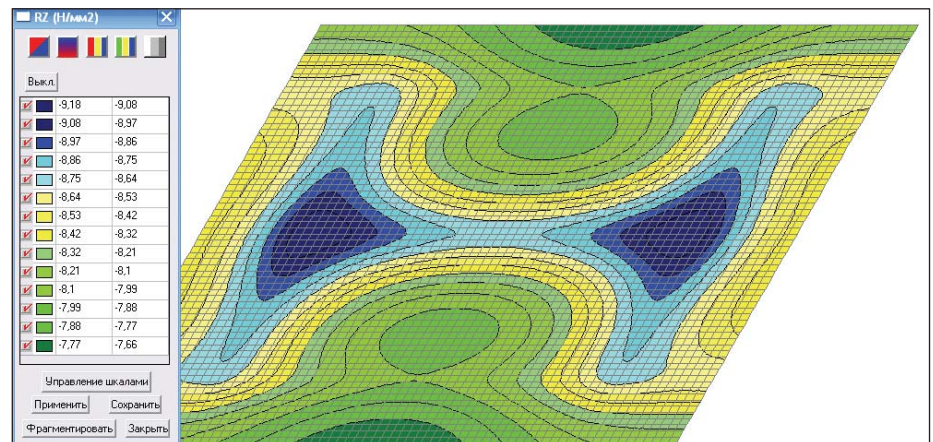


Рис. 5. Распределение опорных реакций фундамента

Для участка плиты, опертого на четыре стороны, в расчетном сечении распределение моментов похоже на принятую за расчетную балочную схему опирания (рис. 4).

На рис. 5 представлено распределение реактивного отпора фундамента для плиты на упругом основании. Характерные концентраторы с максимальным значением 9,2 МПа при расчетном сопротивлении бетона фундамента 9,5 МПа показаны синим цветом.

Основные выводы:

1. Созданные расчетные схемы для анализа НДС элементов узлов конструкций позволяют получить близкую к реальной картину работы.
2. Современные численные методы расчета помогают проверить принятые проектные решения и оценить коэффициент использования прочности материала, а также экономичность и технологичность решения.
3. Результаты сравнения различных методов анализа могут использоваться в обучении специалистов. Это позволит усвоить фундаментальную связь между нормативными документами, проектирующими программами, различными видами расчетов (проверочные

и проектировочные) и их видами (модели различной подробности при разных предположениях).

### Литература

1. Е.И. Беленя, Н.Н. Стрелецкий, Г.С. Веденников и др. Металлические конструкции: Спец. курс: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 687 с.
2. Карпиловский В.С., Крикунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровский В.Г., Юрченко В.В. SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах. – М.: Издательство СКАД СОФТ, 2007. – 407 с.
3. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-23-81\*) / Минрегион России. – М.: ОАО ЦПП, 2011. – 172 с.

*Илья Порываев,  
Марат Сафуллин  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет  
E-mail: iporivaev@gmail.com,  
safullinmarat@list.ru*