

канализационными коллекторами глубокого заложения / Д.Ф. Гончаренко, Д.Ю. Олейник // Эффективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі те-

хнології в будівництві: матеріали міжнародної практичної конференції. – Х.: ХНУСА, 2014. – С. 22.

УДК 624.014

Рюмин В.В., Никичанов В.В., Солодовник Ю.Ю.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ Т-ОБРАЗНЫХ УЧАСТКОВ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Актуальность проблемы

Анализ стальных конструкций с учетом мировой практики их проектирования [1-5] требует всесторонней информации о работе, как отдельных элементов, так и узловых соединений.

В основу методики норм [4], при анализе работы узлового соединения применен подход, при котором узел разбивается на эквивалентные Т-образные участки (простые компоненты), а затем общее поведение узлового соединения оценивается по их суммарному отклику [2]. В действующие нормы [6] методики расчета и анализ узловых соединений не включены.

Отмечается [3], что поведение Т-образного компонента настолько сложно, что применение упрощенных аналитических моделей приводит к неточным результатам, и, в конечном итоге, отражается на оценке работоспособности всего соединения в целом.

В качестве альтернативы предлагается использовать методы конечноэлементного анализа, которые реализованы в расчетных комплексах высокого уровня [7-8].

Известны модели Т-образных компонентов, которые реализованы с использованием 2-d элементов [1], однако развитие вычислительных возможностей и производительности ЭВМ, позволяет, в настоящее время, создавать модели с использованием 3-d конечных элементов, учитывать диаграмму работы материала, предварительное натяжение болтов, а также эффекты контактного взаимодействия смежных поверхностей. При

этом, исследователями применяются различные подходы к разработке численных моделей [7-9].

Цели исследования

С использованием инструментария программного комплекса высокого уровня [10] разработать численные модели Т-образных компонентов, провести их анализ с последующей их верификацией по результатам, полученным в результате экспериментальных исследований.

Экспериментальная часть

Т-образная модель используется для оценки поведения вертикального фланца реального узлового соединения балки с колонной. Исследуемый образец состоит из двух Т-образных элементов, соединенных вместе двумя болтами М12 класса прочности 8.8. Сечение Т-образного элемента получено из двух листов стали С245, сваренных в тавр. Размеры исследуемых образцов приведены на рис.1.

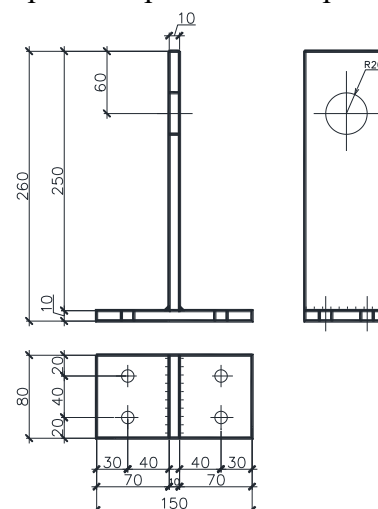


Рис.1. Геометрическая схема исследуемого Т-образного элемента

Испытание образцов проводилось с использованием испытательной машины УИМ-50 (рис.2).

Вертикальные перемещения характерных точек исследуемых образцов фиксировались по показаниям индикаторов часового типа с ценой деления 0.01мм. Фибровые деформации определялись по показаниям электротензометра, в состав которого входили тензорезисторы, автоматический электронный измеритель деформаций АИД-4 с переключателем АП-3 (рис.3).

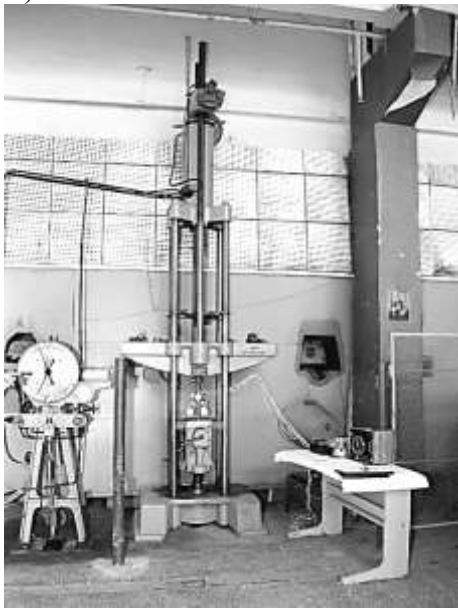


Рис.2. Установка образца в испытательной машине

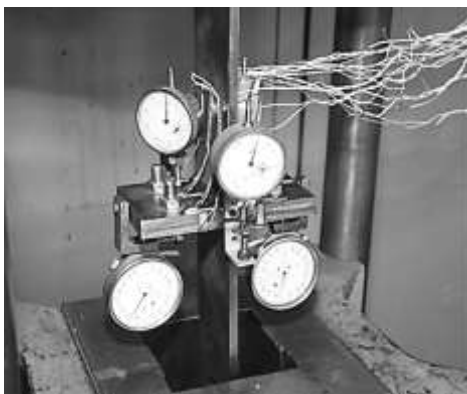


Рис.3. Схема расстановки тензорезисторов и индикаторов часового типа

Нагрузка прикладывалась пошагово с фиксацией показаний на каждом шаге нагружения.

Предельная нагрузка на образец определена аналитически в соответствии с [4].

Конечноэлементная модель

Разработанная модель состоит из следующих частей:

1. Верхний Т-образный компонент;
2. Нижний Т-образный компонент;
3. Болты;
4. Сварные швы.

Наличие осевой симметрии (в плоскости ZOY) позволило упростить модель и оптимизировать время расчета (рис.4).

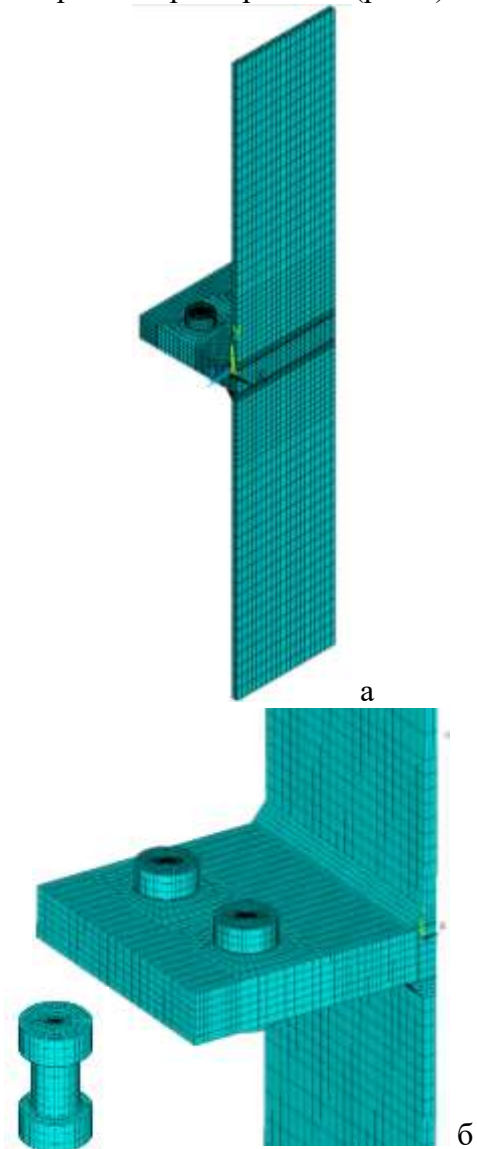


Рис.4. Конечноэлементная модель: а - общий вид; б - фрагмент в месте расстановки болтов

При создании модели использовались следующие типы конечных элементов:

- 20-узловые конечные элементы

типа SOLID186 для полки и стенки Т-образной модели, болтов.

- элементы типа CONTA174 TARGE170 для задания контактных и целевых поверхностей в зонах контакта отдельных деталей разрабатываемой модели.

- элементы типа PRETS179 для моделирования предварительного натяжения болтов.

Нагружение

Для повышения уровня сходимости расчета нагружение прикладывалось пошагово, с дроблением каждого шага на отдельные подшаги. Формирование истории нагружения осуществлено с учетом особенностей включения болтов в работу соединения (табл.1). Результаты анализа получены для каждого подшага нагружения.

Таблица 1 - Этапы нагружения конечноэлементной модели

Шаг нагружения	Описание шага
0-1	Нагрузка не прикладывается, устанавливаются зоны контакта между соответствующими поверхностями модели.
2-3	Натяжение болта 1, «замыкание» болта1.
3-4	Натяжение болта 2 «замыкание» болта 2.
4-5	Внешняя нагрузка на модель

Результаты анализа

Важнейшей характеристикой, описывающей поведение Т-образного компонента, является зависимость величины раскрытия зазора соединяемых деталей от величины внешнего усилия «F-Δ». На рис.5-6 и графиках (рис.7-8) представлены значения узловых перемещений Т-образных компонентов, по результатам числового анализа, а на рис.11-12 исследуемые образцы после приложения последнего шага нагружения.

Построенные графики «F-Δ», показывают достаточно высокое совпадение результатов численных и экспериментальных данных.

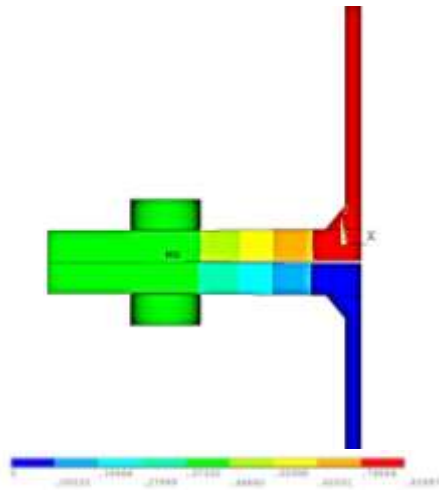


Рис. 5. Перемещение узлов модели, мм, на последнем шаге нагружения (серия образцов И1)

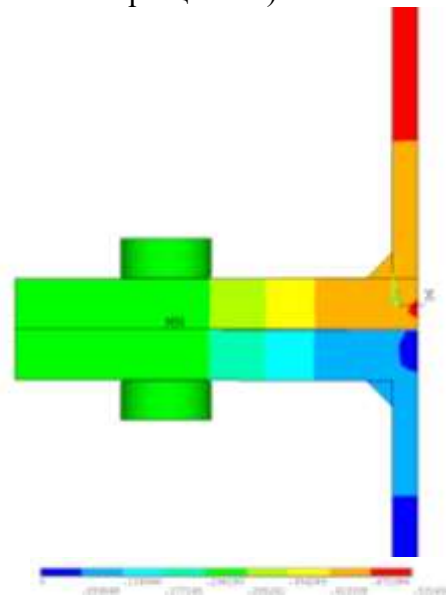


Рис. 6. Перемещение узлов модели, мм, на последнем шаге нагружения (серия образцов И2)

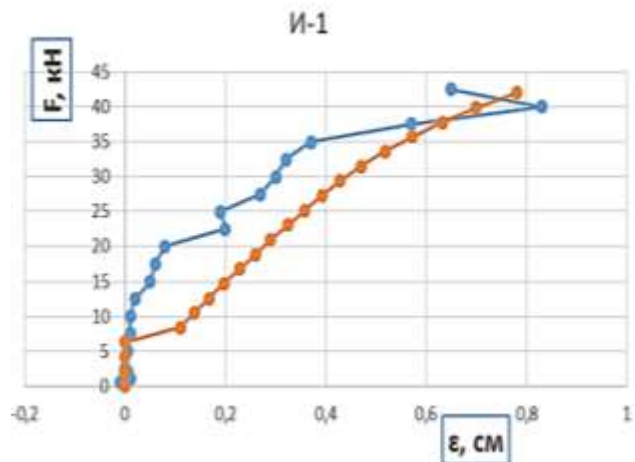


Рис. 7. Величина раскрытия зазора, см

Анализ распределения нормальных напряжений σ_x (рис. 9-10) выявил участки развития пластических деформаций в месте расстановки болтов и в близости сварных швов.

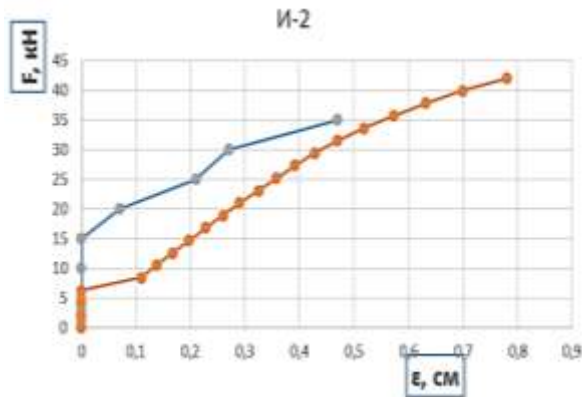


Рис. 8. Величина раскрытия зазора, см

При дальнейшем увеличении нагрузки в этих местах следует ожидать развитие шарниров пластичности и исчерпания несущей способности вследствие образования механизма. При проведении испытаний предельное состояние исследуемых образцов наступило вследствие разрушения металла сварных швов, при этом интенсивность распределения касательных напряжений, по данным численного анализа не превышает значений, принятых за критерий прочности по металлу шва, и по металлу границы сплавления (рис. 13-14).

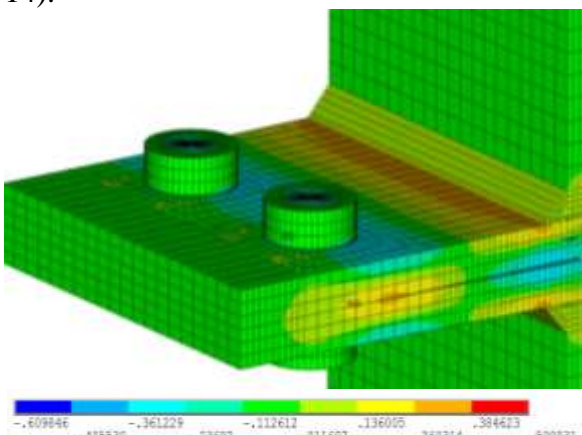


Рис. 9. Распределение напряжений $\sigma_x \cdot 10^2$, кН/см² на последнем этапе загрузки (серия образцов И1)

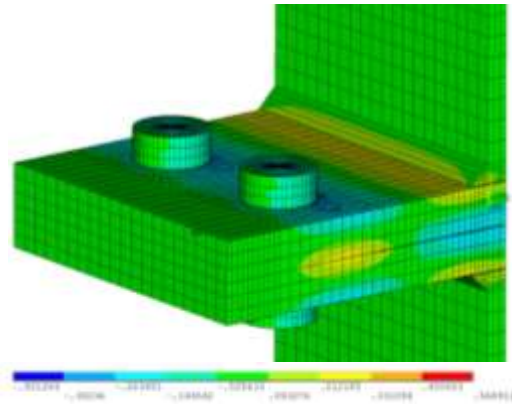


Рис. 10. Распределение напряжений $\sigma_x \cdot 10^2$, кН/см² на последнем этапе загрузки (серия образцов И2)



Рис. 11. Раскрытие зазора образца серии И1



Рис. 12. Раскрытие зазора образца серии И2

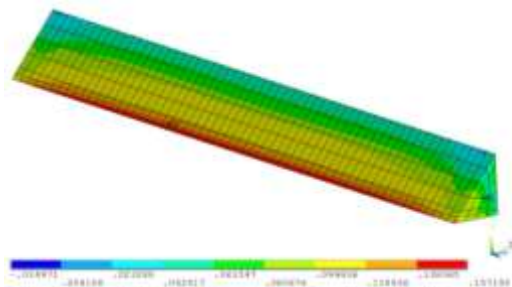


Рис. 13. Распределение напряжений $\tau_{xy} \cdot 10^2$ кН/см² по длине сварного шва (серия образцов И1)

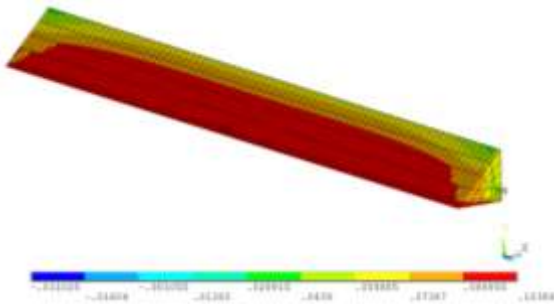


Рис. 14. Распределение напряжений $\tau_{xy} \cdot 10^2$ кН/см² по длине сварного шва (серия образцов И2)

Преждевременное исчерпание несущей способности может быть обусловлено структурными изменениями материала соединяемых деталей в зоне термического влияния сварных швов, а также качеством применяемых сварочных материалов.

Выводы

В ходе проведенных исследований разработана трехмерная конечноэлементная модель Т-образного компонента. Результаты анализа напряженно-деформированного состояния конечноэлементных моделей хорошо согласуются с результатами, полученными в ходе испытаний натурных образцов. Подходы примененные к созданию конечноэлементных моделей могут быть использованы и при разработке конечноэлементных моделей узловых соединений стальных конструкций. При проведении испытаний выявлено влияние технологических факторов на переход натурных образцов в предельное состояние.

ЛИТЕРАТУРА:

1. COST C1.c. Numerical simulation of semi-rigid connections by the finite element method. In: COST C1 report edited by K. Viridi, European Commission, Bruxelles,

2. Luxembourg, 1999.
2. Steenhuis M, Jaspart JP, Gomes F, Leino F. Application of the component method to steel joints. In: Proceedings of the COST C1 International Conference in Liege, September 17-19, 1998, pp. 125-143, Report EUR 18854 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999.
3. Simões da Silva, L., Towards a consistent design approach for steel joints under generalized loading, *Journal of Constructional Steel Research*, 2008, vol. 64, pp. 1059-1075.
4. EN 1993-1-8. Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1.8: Design of Joints. CEN Brussels, Belgium, 2005.
5. A.Perelmuter, E. Kriksunov and others. Designing bolted end-plate connections in compliance with Eurocode and Ukrainian codes: consistency and contradictions. Proceedings of the 10 International Conference «Modern building materials, structures and techniques» Vilnius May19-21, 2010, pp. 733-743.
6. ДБН В.2.6-198:2014.Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. К., Мінрегіонбуд України. 2014.
7. Bursi, O.S. and Jaspart, J.P. (1997). Benchmarks for finite-element modeling of bolted steel connections. *J. Constr. Steel. Res.*, 43 (1), 17-24
8. Bursi, O.S., Jaspart, J.P. (1997), Calibration of a Finite Element Model for Isolated Bolted End-plate Steel Connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 44 (3), 225-262.
9. Bursi, O.S., Jaspart, J.P. (1998), Basic Issues in the Finite Element Simulation of Extended End-plate Connections, *Computers and Structures*, 69 (3), 361-382.
10. ANSYS Mechanical APDL Basic Analysis Guide. 2013 SAS IP, Inc 346p.
11. Гохфельд Д.А., Гецов Л.Б. и др. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 405с.