

УДК 624.078.4:004.94

*Т. М. МАРТЫНЕНКО¹, О. О. СМІЛОВЕНКО¹, И. М. МАРТЫНЕНКО²,
С. А. ЛОСИК¹*

¹*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск*

²*Белорусский государственный университет, Минск*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЗЛА КАРКАСНОЙ КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Исследуется надежность болтовых соединений через накладки двух одинаковых профилей в форме двутавров и тавров. Разработаны конечно-элементные модели в среде ANSYS Workbench. Выполнен анализ усталостной прочности рассматриваемых соединений в зависимости от приложенной нагрузки.

Ключевые слова: соединение двутавровых профилей, соединение тавровых профилей, напряженно-деформированное состояние, усталостная прочность.

Введение. В гражданском строительстве сборные конструкции приобретают всё большую популярность благодаря таким своим технологическим особенностям, как простота и скорость возведения. В течение своего жизненного цикла элементы таких систем подвергаются различным воздействиям, включающим как запланированные эксплуатационные нагрузки, так и незапланированные воздействия окружающей среды и внешней инфраструктуры, в том числе аварийные ситуации. Возникновение значительных деформаций и повреждений строительных объектов свидетельствует об отклонениях параметров их функционирования от заложенных на этапе проектирования.

В большинстве случаев сборные конструкции выполняются из балок открытого профиля. Части колонн объединяются в конструкцию с помощью швов, исключающих взаимное смещение сечений соединяемых элементов. Соединение балок с колоннами может быть шарнирным, упругим или жестким, выполняться сваркой или болтами с использованием накладок и фланцевых соединений [1]. Балки, колонны и их соединительные элементы, используемые в сборных конструкциях, имеют соизмеримую жесткость, поэтому места их соединения относят к упрягоподатливым узлам [2–4].

Эксплуатация болтовых соединений строительных конструкций сопровождается изменением механических характеристик деталей соединений при усталостном нагружении, самоотвинчиванием болтов при циклическом нагружении, краткосрочным и долгосрочным процессом уменьшения напряжений при постоянной величине деформации накладки. Достоверные результаты поведения соединительной накладки для одного и того же диапазона номинальных нагрузок и напряжений можно получить с помощью ко-

нечно-элементного моделирования [5]. Целью данной работы стал численный анализ прочности болтового соединения двух прокатных профилей.

Конечно-элементные модели. Проведены исследования конструкций прямых стыковых узлов двух двутавровых и двух тавровых профилей, соединенных через накладку. Для создания трехмерной модели конструкции (рисунков 1) использовался программный комплекс Autodesk Inventor Professional. Затем геометрия болтового соединения экспортировалась в ANSYS [6, 7].

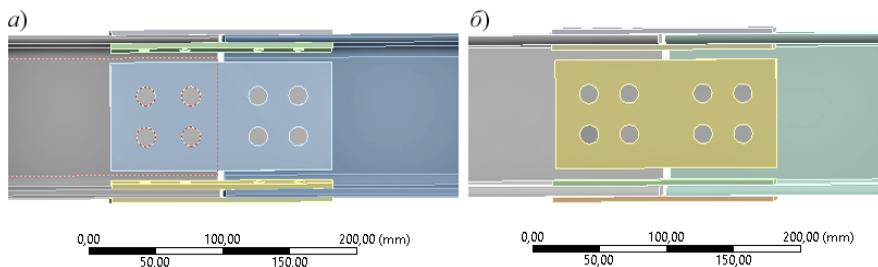


Рисунок 1 – Модели болтовых соединений балок двутаврового (а) и таврового (б) профиля

При создании конечно-элементной модели в среде ANSYS Workbench требуется назначить характерный размер элемента, его форму, способы разбиения. По умолчанию для этого используются двадцатиузловые призматические элементы SOLID186 и десятиузловые тетраэдральные SOLID187, которые могут использоваться при решении как линейных, так и нелинейных задач, в том числе для случаев больших деформаций [7].

Разработанная конечно-элементная модель включала около 54000 конечных элементов названных типов. Характерный размер сетки в области соединения составил 1 мм, для стальных областей – 5 мм (рисунок 2).

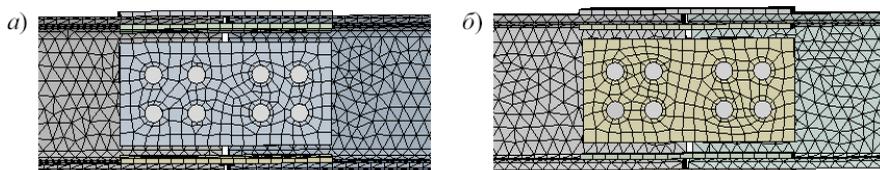


Рисунок 2 – Конечно-элементные модели соединений балок двутаврового (а) и таврового (б) профиля

Предполагалось, что концевые сечения соединяемых балок жестко закреплены. На рисунке 3 показано, что такие связи наложены на двутавры в местах с метками АВ и АС, а на тавры – в сечениях R и S. Точка с меткой А является местом приложения вертикальной силы 1000 Н. Остальные метки соответствуют местам расположения болтовых соединений.

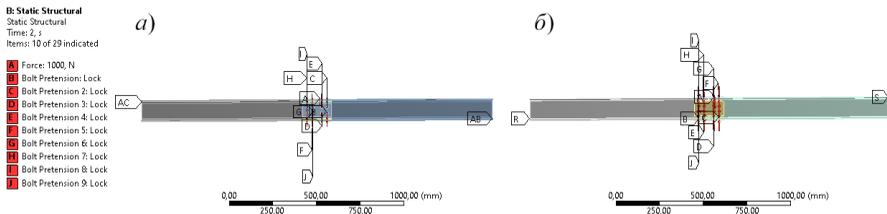


Рисунок 3 – Схемы приложения нагрузок на балки двутаврового (а) и таврового (б) профиля

Результаты расчетов. Выполнен статический расчет рассматриваемых конструкций. На рисунке 4 приведены схемы распределения перемещений в конструкциях, а на рисунке 5 – эквивалентных напряжений в накладках.

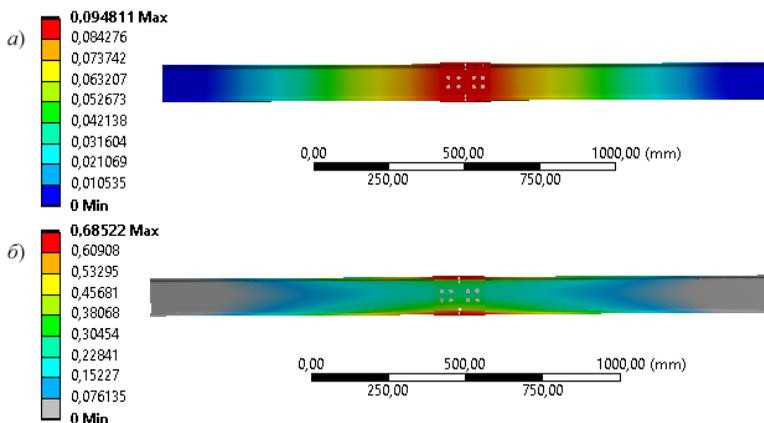


Рисунок 4 – Распределение деформаций в соединенных встык элементах двутаврового (а) и таврового (б) профиля

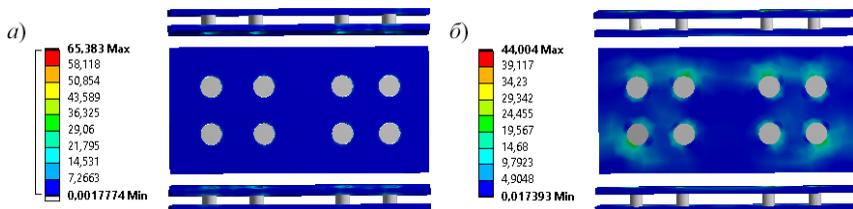


Рисунок 5 – Распределение напряжений в накладках соединений балок двутаврового (а) и таврового (б) профиля

Надежность конструкций определяется не только напряженно-деформированным состоянием под действием статических нагрузок, но и усталостной долговечностью. При моделировании в среде ANSYS Fatigue Life могут быть определены число циклов нагружения до разрушения, коэффициент

усталостного повреждения (отношение заданного и расчетного сроков службы), а также коэффициент безопасности при заданном сроке службы [8–10].

Результаты моделирования циклического нагружения двутаврового и таврового соединений при значении амплитуды приложенной силы 1000 Н показали, что необходимый срок службы полностью обеспечивается для обоих случаев. На рисунке 6 приведены схемы, демонстрирующие значения коэффициента запаса усталостной прочности для разных областей рассматриваемых соединений. Наименьший коэффициент запаса наблюдается в местах соприкосновения накладки с болтами.

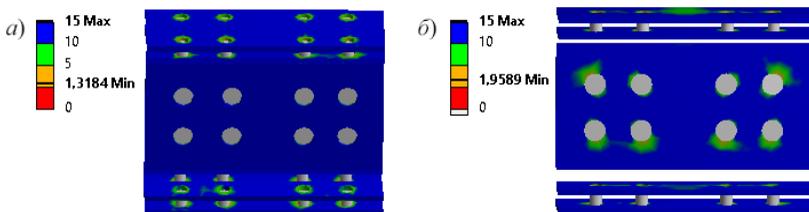


Рисунок 6 – Коэффициент запаса прочности при болтовом соединении элементов двутаврового (а) и таврового (б) профиля

По результатам вычислительного эксперимента для соединения двух двутавров построены зависимости от поперечной силы (рисунок 7) перемещений в месте приложения нагрузки (кривая 1) и коэффициента запаса усталостной прочности (кривая 2). Зависимость перемещения от поперечной силы оказалась линейной. Если при статическом нагружении в зависимости от функционального назначения болтового соединения коэффициент запаса прочности принимают от 2,5 до 3, то при циклическом нагружении и минимальной нагрузке коэффициент усталостной прочности составил около 1,4. При циклическом нагружении силой с амплитудой 6 кН значение коэффициента усталостной прочности приближается к единице, что указывает на отказ до достижения расчетного срока службы

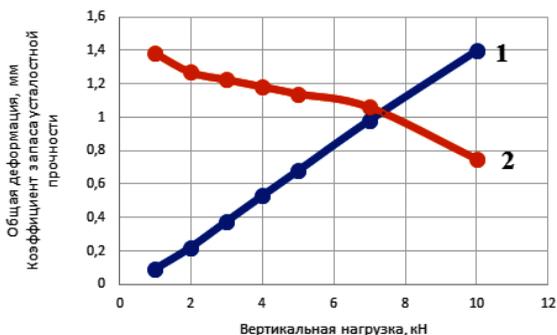


Рисунок 7 – Зависимости перемещений 1 и коэффициента запаса прочности 2 двутаврового соединения от поперечной силы

Заключение. Разработанные конечно-элементные модели позволяют моделировать поведение соединения балок открытого профиля и определять предполагаемые области разрушения, оценивать несущую способность соединений и коэффициент запаса усталостной прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Перельмутер, А. В.** Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 618 с.

2 Конструирование зданий и сооружений. Легкие стальные тонкостенные конструкции / Н. И. Ватин [и др.]. – СПб. : Изд-во Политехнического ун-та, 2012. – 261 с.

3 **Strømmen, E. N.** Structural mechanics: The theory of structural mechanics for civil, structural and mechanical engineers / E. N. Strømmen. – Cham : Springer, 2020. – 354 p.

4 **Лещенко, А. П.** Фундаментальная строительная механика упругих систем / А. П. Лещенко. – М. : URSS, 2008. – 976 с.

5 Анализ механических характеристик узловых соединений строительных конструкций на основе моделирования в среде ANSYS / Т. М. Мартыненко [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. – Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2023. – № 1 (33). – С. 39–44.

6 **Дьяков, И. Ф.** К расчету оболочки, укрепленной тонкостенными стержнями / И. Ф. Дьяков, С. А. Чернов // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – № 1. – С. 16–20.

7 **Басов, К. А.** ANSYS в примерах и задачах / К. А. Басов. – М. : Компьютер-Пресс, 2002. – 223 с.

8 Validation and verification of fatigue assessment using FE analysis: A study case on the notched cantilever beam / A. Fajri [et al.] // Procedia Structural Integrity. – 2021. – Vol. 33. – P. 11–18.

9 **Икрин, В. А.** Сопrotивление материалов с элементами теории упругости и пластичности / В. А. Икрин. – М : АСВ, 2004. – 424 с.

10 ТКП EN 1993-1-9:2009 (02250) Проектирование стальных конструкций. Ч. 1–9. Усталостная прочность. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 51 с.

T. M. MARTYNYENKO¹, O. O. SMILOVENKO¹, I. M. MARTYNYENKO², S. A. LOSIK¹

¹The University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of Belarus, Minsk, Belarus

²Belarusian State University, Minsk, Belarus

INVESTIGATION OF A FRAME STRUCTURE RELIABILITY BY ANSYS SOFTWARE

The reliability of bolted connections through linings of two identical profiles in the form of I-beams and T-beams is investigated. The finite element models are developed in ANSYS Workbench. An analysis of the fatigue strength of the joints under consideration depending on the applied load is carried out.

Keywords: I-profiles connection, T-profiles connection, stress-strain state, fatigue strength.

Получено 03.10.2023