

УДК 624.04

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ  
УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЛСТК  
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ***Кравченко Г. М., Костенко Д. С.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[galina.907@mail.ru](mailto:galina.907@mail.ru)[dmitrykostenko95@gmail.com](mailto:dmitrykostenko95@gmail.com)

Исследована работа узлового соединения фермы, выполненной из легких стальных тонкостенных профилей. Элементы конструкции проектируются внахлестку при помощи винтовых соединений, подверженных комбинированному растяжению со сдвиговым усилием. Моделирование узлового соединения ЛСТК на основе самонарезающих винтов выполнено методом конечных элементов в мультифизическом вычислительном комплексе ANSYS. Выполнен подбор оптимального количества самонарезающих винтов и геометрических параметров элементов узла. Верификация результатов проведена на основе данных серии натурных экспериментов.

**Ключевые слова:** ЛСТК, винтовое соединение, ферменная конструкция, тонкостенный профиль.

**Введение.** В современной практике строительства растет популярность применения облегченных стальных конструкций (ЛСТК). ЛСТК имеют ряд преимуществ, среди которых высокое отношение прочности к весу металлопроката, относительно низкие трудозатраты на изготовление профилей и высокая скорость монтажа. Облегченные стальные конструкции становятся альтернативой классическим деревянным фермам, используемым в жилых зданиях, и горячекатаным фермам, которые применяются при проектировании промышленных и общественных зданий. В настоящее время поведение винтовых соединений, подверженных комбинированному растяжению и сдвиговым усилиям, недостаточно изучено.

**Обзор литературных источников.** В рамках исследования, проведенного университетом г. Селфорд, было проведено 228 испытаний соединения элементов ЛСТК. Натурные эксперименты, проведенные в других британских и европейских исследовательских институтах, были направлены на изучение факторов, влияющих на прочность соединения профилей холоднокатаной стали. Полученные результаты дают представление о реальной работе узловых соединений облегченных стальных конструкций. Предложено конструктивное решение, которое позволяет проектировать холоднокатаные стальные конструкции с учетом критерия стоимости. Методика проведения натурных экспериментов соответствовала требованиям Еврокода. Процент

UDC 624.04

**ANALYSIS OF JOINT STIFFNESS OF  
LIGHT-GAUGE STEEL FRAMING BY THE  
FINITE ELEMENTS METHOD***Kravchenko G.M., Kostenko D.S.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[galina.907@mail.ru](mailto:galina.907@mail.ru)[dmitrykostenko95@gmail.com](mailto:dmitrykostenko95@gmail.com)

This article is aimed to investigate the behavior of truss nodal connection of light-gauge steel framing. Structural elements are designed to overlap using screw connections subjected to combined tension with shear force. Modeling of the node connection of LGSF based on self-cutting screws is performed by the finite element method in the multiphysical computing complex ANSYS. The selection of the optimal number of self-cutting screws and geometric parameters of the node elements is made. Verification of the results was carried out on the basis of a series of field experiments.

**Keywords:** light-gauge steel framing, screw connection, truss, thin element

вариации предельной нагрузки в каждой серии испытаний изменялся от 10,5% до 1,6%, со средним значением 5,3% и отклонением, равным 2,3%.

В университете науки и техники Миссури (Колумбия) проведены исследования [3], по результатам которых определены четыре параметра, имеющие наибольшее влияние на прочностные характеристики элементов тонкостенных профилей, соединенных резьбовыми соединениями при растяжении: толщина листа, предел прочности стали, пластичность стали и диаметр винта (рис. 1). Результатом данных исследований являются новые практические рекомендации по расчету прочности винтовых соединений с учетом влияния вышеперечисленных параметров.

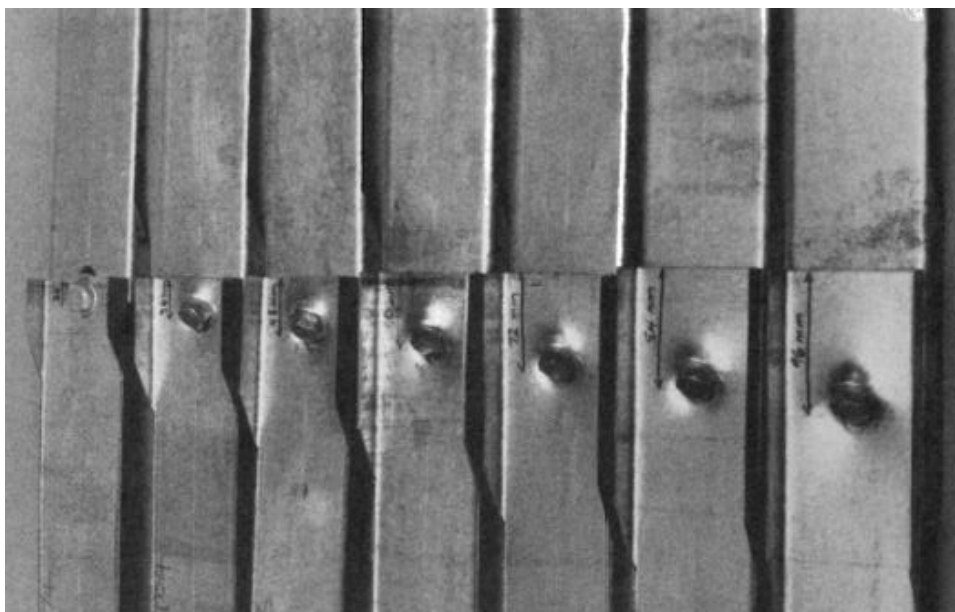


Рис. 1. Характер разрушения соединений ЛСТК [Х]

На основе натуральных испытаний облегченных стальных конструкций С-образного сечения [4] определена оптимальная длина изгиба для балочных элементов. Предложена математическая модель, позволяющая определить предельную несущую способность балочных элементов С-образного сечения с учетом длины загиба, основанная на итерационном подходе определения оптимальных геометрических параметров гнутых профилей по критерию прочности.

Авторы исследования из политехнического университета Тимишоары [5] провели серию натуральных испытаний ферм из С-образных профилей, соединенных самонарезающими винтами и разработали методику для проверки элементов верхнего пояса на прочность и устойчивость, подвергающихся осевому сжатию и изгибу. Предложенная методика использует рекомендации по проектированию стальных конструкций из холоднокатаной стали, разработанные в Университете Миссури-Ролла.

**Проведение натурального эксперимента.** Целью данного исследования является изучение поведения узлового соединения ЛСТК на основе самонарезающих винтов, подбор оптимального количества и геометрических параметров элементов узла. В рамках исследования проведены серии натуральных экспериментов с целью получения информации о величине коэффициента трения между элементами узлового соединения, а также величины его жесткости в различных направлениях. После получения необходимых физико-механических параметров и апробации математической модели узла выполняется моделирование различных вариантов соединения.

Эксперимент выполнен на универсальной разрывной машине Instron серии 5900.

Испытание состоит из двух циклов нагружения — первый до величины растягивающей нагрузки, равной 6 кН, второй — до нагрузки, вызывающей разрушение образца. В серии экспериментов были испытаны узлы гнутых профилей толщиной 1,8, 2,5 и 3 мм в различных комбинациях.

Результаты эксперимента в виде диаграмм в осях нагрузка — деформации для испытанных образцов показаны на рис. 2. Как видно из графика (рис. 3), значения жесткости для соединений, выполненных из профилей толщиной 2,5 и 3 мм, значительно выше, чем для элементов с толщиной 1,8 мм. Разрушение соединения происходит вследствие роста величины напряжений в области контакта профилей с боковой гранью самонарезающего винта и образования пластических деформаций по мере роста прилагаемой растягивающей нагрузки на узловое соединение. В результате появления локальных деформаций узел приобретает высокую степень податливости, значение которой не соответствует конструктивным требованиям соединения.

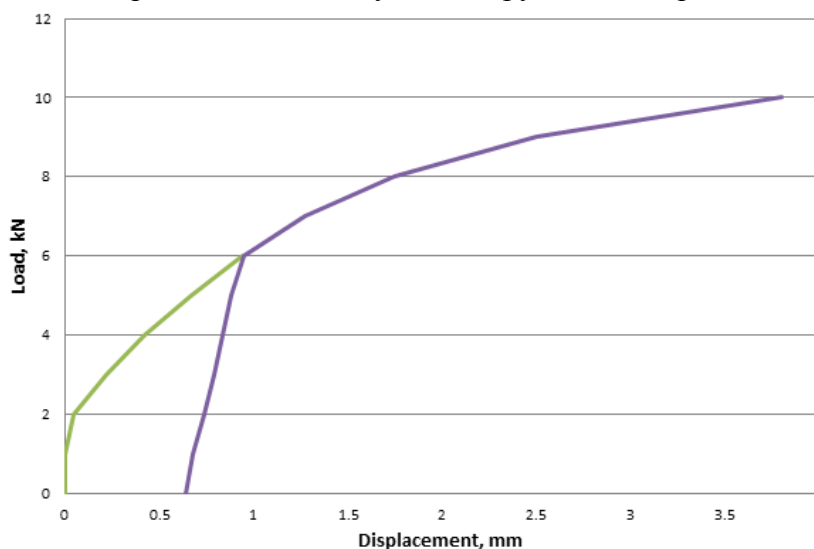


Рис. 2. Результаты натурного испытания узлового соединения профилей толщиной 3,0 мм

Важной особенностью является то, что для профилей 2,5 и 3 мм касательные напряжения имеют определяющее значение при данном характере нагружения узлового соединения. Вместе с тем, влияние выдергивающей силы, перпендикулярной профилю, возникающей вследствие развития пластических деформаций в области контакта соединяемых элементов, и, как следствие, наклон самонарезающего винта стремится к нулю при увеличении толщины соединяемых профилей.

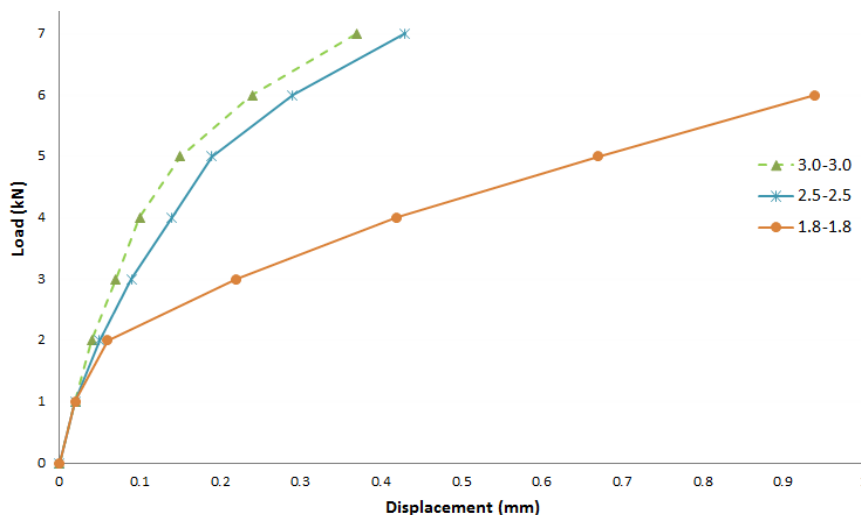


Рис. 3. Сравнение жесткости узлов ЛСТК с различными толщинами соединяемых профилей

**Верификация конечно-элементной модели.** Геометрия для статического анализа подготовлена в предпроцессоре SolidWorks, затем экспортирована в программный комплекс ANSYS.

С целью упрощения конечно-элементной модели испытываемого образца, геометрия самореза представлена без резьбы (рис. 4).

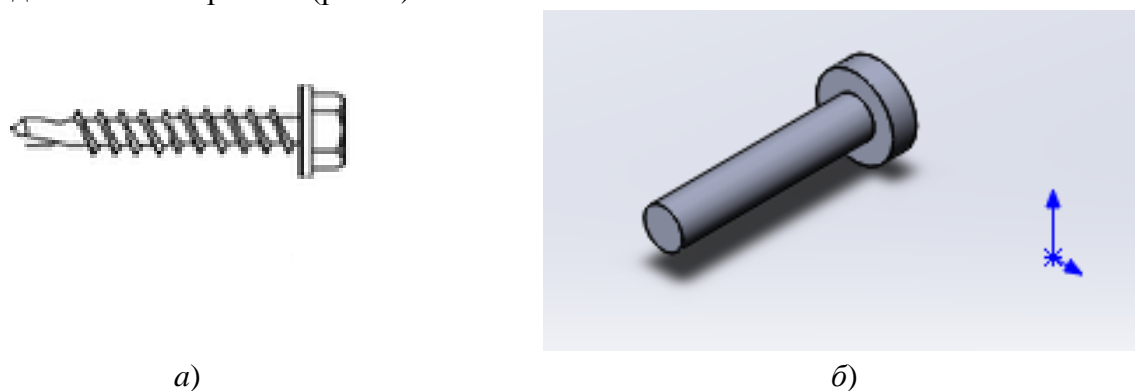


Рис. 4. Геометрия самореза: а — общий вид и б — геометрия самонарезающего винта в модели

Согласно результатам натурального эксперимента, при увеличении толщины соединяемых элементов уменьшается влияние линейной жесткости самонарезающего винта на выдергивание. При разработке конечно-элементной модели линейная жесткость на выдергивание моделируется коэффициентом трения.

Расчетная схема узлового соединения с одним самонарезающим винтом представлена на рис. 5. Для соответствия действительного напряженно-деформированного состояния испытываемого образца, в расчетной схеме учтены следующие граничные условия: скользящая заделка с нагруженной стороны и жесткая заделка грани профиля с ненагруженной стороны.

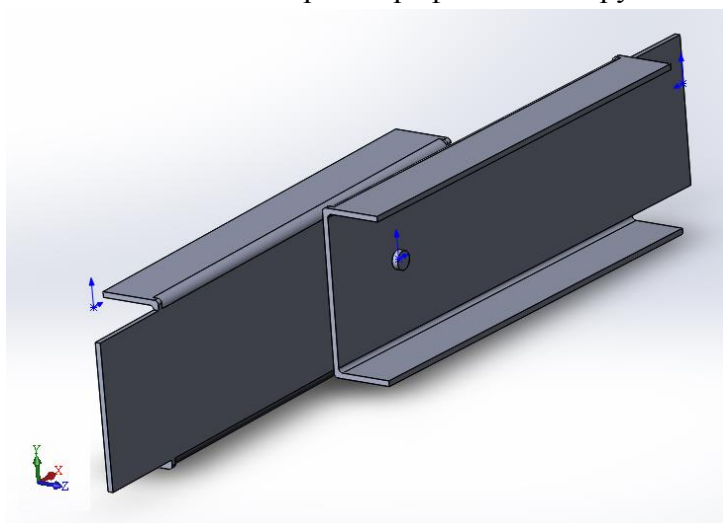
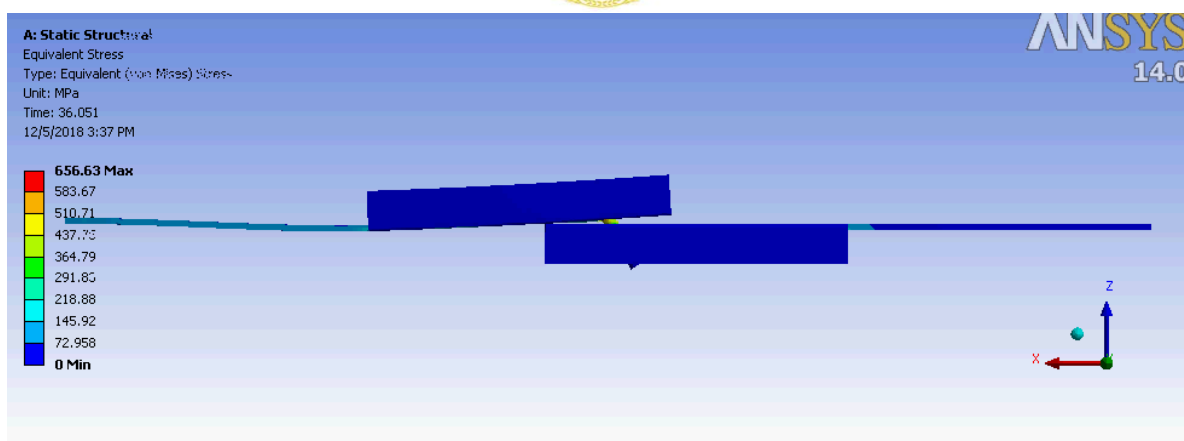
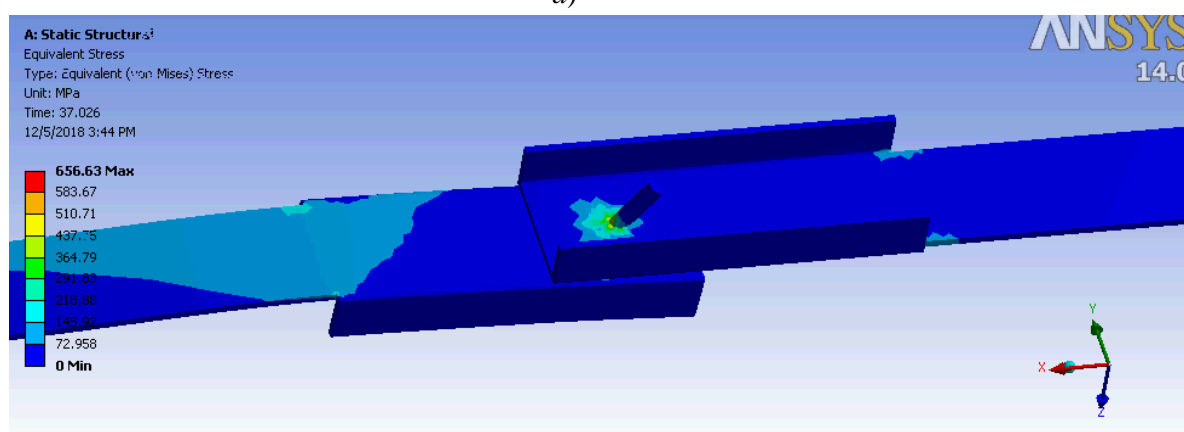


Рис. 5. Расчетная схема узлового соединения

Разработанная конечно-элементная модель узла отражает реальную работу соединения (рис. 6). Напряжения в области сопряжения профилей с поверхностью самонарезающего винта превышают значение предела текучести для металла профилей, что вызывает местные пластические деформации в пластинах и поворот самонарезающего винта в плоскости приложения растягивающей нагрузки на узловое соединение.



a)



b)

Рис. 6. Пример подписи к рисунку

**Выводы.** Математическое моделирование узлового соединения ЛСТК выявило сложное напряженно-деформированное состояние зоны контакта самонарезающего винта и поверхностей соединяемых профилей. Возникновение пластических деформаций меняют угол наклона винта для тонких пластин, что влечет за собой выдергивание винта. Однако, при значительных толщинах соединяемых элементов разрушение происходит преимущественно из-за среза самонарезающего винта. По результатам исследования установлено, что при увеличении толщины соединяемых элементов уменьшается влияние линейной жесткости самонарезающего винта на выдергивание. Полученные зависимости приложенной нагрузки и деформации позволяют получить численные значения жесткости для винтовых узловых соединений при различных толщинах соединяемых элементов. Характеристики жесткости могут быть использованы в расчетном программном комплексе для описания поведения узлов элементов каркаса здания или сооружения методом конечных элементов.

### Библиографический список

1. Komara I. Assessing the tensile capacity of cold-formed steel connections using self-drilling screws and adhesive materials / Komara I., Wahyuni E., Suprobo P. // International journal on advanced science engineering information technology. — 2018. — Vol. 8, № 2. — p. 397–404.
2. R.M. Francka Screw connections subject to tension pull-out and shear forces / R.M. Francka, R.A. LaBoube // International specialty conference on cold-formed steel structures. — 2018. — Vol. 20 — p. 102–128.
3. Bayan A. Cold formed steel joints and structures – a review / Bayan A., Sariffuddin S., Hanim O. // International journal of civil and structural engineering. — 2011. — Vol. 2, № 1. — p. 612–625.