



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2016, ТОМ 22, НОМЕР 3, 157–170

УДК 624.012.4

(16)-0350-1

СТАТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ВУЗЛОВОГО З'ЄДНАННЯ СТРУКТУРНОГО ПОКРИТТЯ «ИНЕКО»

В. М. Василев, В. П. Мущанов, А. М. Альохін, А. М. Миронов, А. В. Безушко

Донбаська національна академія будівництва і архітектури,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, 86123.

E-mail: wn1951@mail.ru

Отримана 27 липня 2016; прийнята 23 вересня 2016.

Анотація. На підставі аналізу існуючих технічних рішень вузлових з'єднань структурних покриттів запропоновано нове одноболтове з'єднання «ИНЕКО», конкурентоспроможне при використанні в легких металевих покриттях. Запропоноване з'єднання не вимагає дорогих технологій при виготовленні, а може бути виготовлене в умовах заводу металокопункцій. Структура з вузловим з'єднанням «ИНЕКО» відрізняється високою технологічністю, оскільки містить всього два типорозміри: поясний і розкісний елемент. У статті представлені результати чисельних і експериментальних досліджень вузлового з'єднання нової конструктивної форми структурного покриття «ИНЕКО». Чисельні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) фасонки розкосу і плоскої ферми з елементів структури виконані з використанням програмного комплексу «SCAD». Прийнята розрахункова схема не враховувала піддатливості вузлових фасонки поясних і розкісних елементів. Цей розрахунок дозволив визначити теоретичну несучу здатність вузлової фасонки розкосу, яка визначає характер роботи всієї структури. Дійсний НДС фасонки досліджено в процесі натурних випробувань плоскої ферми і зібраної з елементів структури «ИНЕКО». Порівняння чисельних і експериментальних досліджень дозволило врахувати піддатливість вузлових фасонки при реальному проектуванні структурних покриттів «ИНЕКО».

Ключові слова: несучі конструкції покриття, структура, дійсна несуча здатність, розрахунок, рекомендації.

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТРУКТУРНОГО ПОКРЫТИЯ «ИНЕКО»

В. Н. Васылев, В. Ф. Мущанов, А. М. Алехин, А. Н. Миронов, А. В. Безушко

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,

2, ул. Державина, г. Макеевка, 86123.

E-mail: wn1951@mail.ru

Получена 27 июля 2016; принята 23 сентября 2016.

Анотація. На основанні аналізу існуючих технічних рішень вузлових з'єднань структурних покриттів запропоновано нове одноболтове з'єднання «ИНЕКО», конкурентоспроможне при використанні в легких металевих покриттях. Предложеное з'єднання не потребує дорогих технологій при виготовленні, а може бути виготовлене в умовах заводу металокопункцій. Структура з вузловим з'єднанням «ИНЕКО» відрізняється високою технологічністю, т. к. містить всього два типорозміри: поясний і розкісний елемент. В статті представлені результати чисельних і експериментальних досліджень вузлового з'єднання нової конструктивної форми структурного покриття «ИНЕКО». Чисельні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) фасонки розкосу і плоскої ферми з елементів структури виконані з використанням програмного комплексу «SCAD». Прийнята розрахункова схема не враховувала піддатливості вузлових фасонки поясних і розкісних елементів. Цей розрахунок дозволив визначити теоретичну несучу здатність вузлової фасонки розкосу, яка визначає характер роботи всієї структури. Дійсний НДС фасонки досліджено в процесі натурних випробувань плоскої ферми і зібраної з елементів структури «ИНЕКО». Порівняння чисельних і експериментальних досліджень дозволило врахувати піддатливість вузлових фасонки при реальному проектуванні структурних покриттів «ИНЕКО».

(НДС) фасонки раскоса и плоской фермы с элементов структуры выполнены с использованием программного комплекса «SCAD». Принятая расчетная схема не учитывала податливости узловых фасонки поясных и раскосных элементов. Этот расчет позволил определить теоретическую несущую способность узловой фасонки раскоса, которая определяет характер работы всей структуры. Действительное НДС фасонки исследовано в процессе натуральных испытаний плоской фермы и собранной из элементов структуры «ИНЕКО». Сравнение численных и экспериментальных исследований позволило учесть податливость узловых фасонки при реальном проектировании структурных покрытий «ИНЕКО».

Ключевые слова: несущие конструкции покрытия, структура, действительная несущая способность, расчет, рекомендации.

STATIC TESTING OF THE NODE CONNECTION OF SPACE STRUCTURAL «INEKO»

Volodymyr Vasylev, Volodymyr Mushchanov, Andrey Alyokhin, Andrii Myronov,
Anna Bezushko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, 86123.
E-mail: vn1951@mail.ru*

Received 27 July 2016; accepted 23 September 2016.

Abstract. A new one-bolt compounds «INEKO», competitive with using a light coating of metals, have been suggested on the ground of analysis of existing technical solutions of node connections of space structures. Offered connection does not require expensive technology in production and can be made in the settings of plant of metal structures. The structure, having node connection of «INEKO», differs in high fabricability, because it contains only two nominal size: chord and brace element. The article presents the results of numerical and experimental researches of node connection of the new constructive form of structural coverage of the «INEKO». Numerical researches of stress-strain state of gusset plate of brace space structure were made with the use of «SCAD» software. The accepted structural design did not take into account pliability of gussets, chord and brace element. This calculation allowed to define theoretical sustaining capacity of gusset that determines character of work of all structure. Actual stress-strain state of gusset made on models of plate girder collected from elements of the «INEKO». Comparison of numeral and experimental researches allowed to take into account pliability of gussets at the real designing of structural coverage of «INEKO».

Keywords: supporting construction of coverage, space structure, actual sustaining capacity, calculation, recommendations.

Введение

В настоящее время в покрытиях промышленных и общественных зданий используются новые светопрозрачные кровельные материалы. Эти материалы принципиально отличаются от традиционных своими конструктивными решениями:

- малый собственный вес;
- система стыковки листов в продольном и поперечном направлении;
- максимальная длина поставляемых листов составляет 12 м;

- шаг поддерживающих (несущих) конструкций должен быть в пределах 1×1 м;
- сечения поддерживающих конструкций должны быть минимальными для получения максимальной освещенности в помещении.

Использование традиционных несущих конструкций под светопрозрачные кровельные материалы существенно снижает эстетические и технико-экономические показатели покрытия и ухудшает светотехнические характеристики помещения.

Одной из перспективных конструктивных форм покрытия под светопрозрачные кровельные материалы является структура. Однако эффективность структуры в значительной мере зависит от системы узла сопряжения ее элементов.

Описание конструктивной формы структуры «Инeko»

С целью повышения технико-экономических показателей структурного покрытия разработана система узла сопряжения элементов структуры «ИНЕКО» (рис. 1).

Структура покрытия типа «ИНЕКО» представляет собой пространственную решетчатую конструкцию, набираемую из стержней двух типоразмеров: наклонный элемент решетки и элемент верхнего и нижнего пояса. При плоской структуре поясные элементы и элементы решетки имеют один типоразмер. При криволинейной структуре с постоянным радиусом кривизны поясные элементы верхнего и нижнего пояса имеют разные типоразмеры при одном типоразмере элементов решетки.

Отличительная особенность описываемой системы структуры заключается в новой системе сопряжения элементов решетки и поясов в узлах (рис. 1). В торцы поясных элементов по продольной оси вставлены плоские фасонки (1) с отверстием под узловой болт (3). Элементы решетки соединяются с узловым болтом (3) через гнутую фасонку (2). Гнутая фасонка (2)

имеет два участка: горизонтальный и наклонный. Наклонный участок фасонки врезается в стержень раскоса под углом к его продольной оси. Это позволяет освободить пространство под максимальное сближение восьми стержней, сходящихся в узле, и соединить их одним вертикальным болтом (3).

Небольшие размеры узловых фасонки и при отсутствии вспомогательных деталей сводит к минимуму затемнение светопрозрачного покрытия и повышает эстетическую выразительность структурной конструкции.

Конструкция структуры «ИНЕКО» не требует специальных машиностроительных технологий, для изготовления структуры достаточно традиционной технологии завода металлоконструкций.

Постановка задачи исследования

Анализ конструктивной формы структуры показал, что ее несущая способность прежде всего определяется несущей способностью фасонки раскосов и поясов. Все фасонки работают относительно оси с минимальной жесткостью. Гнутая фасонка раскоса работает на изгиб, а прямая фасонка элемента пояса воспринимает в узле поперечную силу и возможный узловой момент, создаваемый гнутыми фасонками в узле.

Стержни элемента решетки и пояса работают как центрально и внецентренно-сжатые элементы. Расчет этих элементов может быть выполнен по действующим нормам [1].

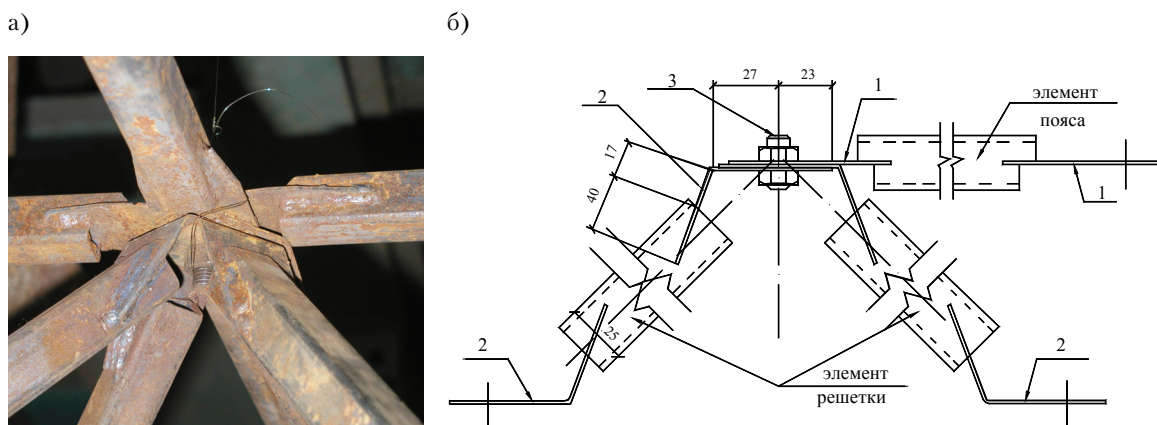


Рисунок 1. Узел сопряжения элементов структуры «ИНЕКО»: а) узел по верхним поясам структуры; б) схема узла: 1 – горизонтальная узловая фасонка поясного элемента; 2 – гнутая узловая фасонка элемента решетки; 3 – вертикальный узловой болт.

Расчет фасонки в составе узлового соединения структуры представляет собой сложную инженерную задачу и требует массу допущений, которые могут быть получены в комплексе с экспериментальными исследованиями фрагмента структуры.

Для оценки несущей способности отдельных элементов и планирования натурного эксперимента выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния:

- узловой фасонки раскоса узлового соединения структуры;
- плоской фермы и фрагмента структуры с идеальной шарнирной расчетной схемой без учета податливости узловых фасонки.

Кроме того, необходимо было:

- провести экспериментальные исследования плоской фермы и фрагмента структуры, составленной из элементов структуры. Эти эксперименты позволят проследить действительную работу фасонки при различном количестве соединяемых элементов в узле;
- провести анализ численных и экспериментальных исследований;
- разработать рекомендации по расчету структуры «ИНЕКО».

Численные исследования

Целью расчета гнутой фасонки раскоса структуры являлось определение ее напряженно-деформированного состояния (рис. 2) и отработка методики численного расчета данного типа узлового соединения. В качестве расчетного элемента был принят узел, состоящий из гнутой листовой фасонки и примыкающей квадратной трубы раскоса.

Статический расчет производился с использованием программного комплекса SCAD, реализованного в среде Windows, в пространственной постановке при упругой работе материала. Квадратная труба раскоса и листовая гнутая фасонка узла моделировались из набора оболочек треугольной конфигурации. В расчетах варьировалась только толщина узловой фасонки раскоса: 2, 3, 4, 5 и 6 мм.

Нагрузка, действующая в раскосе, прикладывалась по периметру торца трубы в направлении оси раскоса. Узел закреплялся по торцам

трубы – с разрешением перемещений вдоль оси раскоса, и по периметру отверстия для стыкового болта. Такая расчетная схема узла позволила определить действительную несущую способность гнутой фасонки без учета влияния фасонки других раскосов в узле структуры.

В процессе расчета определялись приведенные напряжения в наиболее напряженных точках фасонки, рассчитанные по 4-й (энергетической) теории прочности – поскольку в узле действует сложное НДС, характеризующееся как нормальными, так и касательными напряжениями [2].

Расчеты показали, что наиболее напряженными зонами в гнутой узловой фасонке являются (рис. 2):

- точки фасонки в местах ее выхода из трубы (точка А);
- точки по линии сгиба фасонки (точка Б);
- точки у края отверстия под узловой болт (точка В).

Результаты расчетов несущей способности гнутой узловой фасонки раскоса структуры типа «ИНЕКО» представлены в таблице 1.

Из приведенных в табл. 1 результатов расчета несущей способности гнутой узловой фасонки раскоса структуры видно, что несущая способность гнутой фасонки раскосов структуры, представленной на испытаниях, без учета влияния фасонки других раскосов в узле струк-

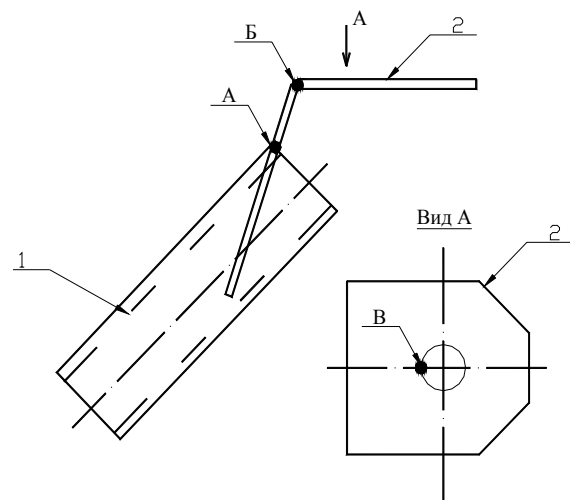


Рисунок 2. Расчетные точки А, Б и В узловой фасонки раскоса структуры типа «ИНЕКО»: 1 – раскос; 2 – гнутая фасонка раскоса.

туры, составляет 0,98 кН. Рассмотренный вариант является наиболее невыгодным для несущей способности гнутой фасонки раскоса. В реальном узловом соединении с несколькими элементами несущая способность гнутой фасонки раскосов будет выше.

Предварительный расчет узловой фасонки, представленной на испытание, показал, что её теоретическая предельная несущая способность составляет 0,98 кН. Поэтому статический расчет плоской фермы выполнен на максимальную нагрузку 2 кН. Статический расчет выполнялся с использованием программного комплекса SCAD с учетом упругой работы материала. В качестве расчетной схемы была принята классическая плоская шарнирно-стержневая система (рис. 3), без учета новой конструктивной формы узлового сопряжения элементов структуры.

В результате проведенного расчета были определены:

- прогибы в узлах конструкции от узловых нагрузок;
- расчетные усилия в элементах фермы от узловых нагрузок.

Результаты численных исследований НДС плоской фермы представлены в таблице 2.

Экспериментальные исследования деформированного состояния структуры

Схема испытываемой плоской фермы представлена на рис. 4. Ферма пролетом 2,548 м и высотой 0,645 м по осям поясов собрана из стандартных раскосов структурного блока и специальных поясных элементов, которые имеют стандартные прямые фасонки и длину, равную диагонали стандартной ячейки структурного блока. Это позволило собрать плоскую ферму со стандартной геометрией раскосов.

Деформированное состояние плоской фермы исследовалось с использованием прогибомеров ПАО6 и индикаторов часового типа ИЧ10 с ценой деления 0,01 мм. Схема расстановки приборов на испытываемой плоской ферме представлена на рис. 5. Прогибомерами определялись перемещения трех узлов фермы в вертикальной плоскости. Индикаторами часового типа контролировалось перемещение точек гнутых фасонки относительно продольной

Таблица 1. Расчетная предельная несущая способность узловой фасонки раскоса структуры «ИНЕКО»

Сечение раскоса, мм	Толщина фасонки t, мм	Предельная расчетная несущая способность фасонки N_p , кН	Диаметр стыкового болта
25 × 25	2	0,98	М8
	3	2,03	
	4	3,37	
	5	4,92	
	6	6,61	

Таблица 2. Результаты статического расчета плоской фермы структуры *

Этап загрузки	Узловая нагрузка, кН	Продольные усилия в стержнях, кН		Прогиб узла 2, мм
		1	2	
1	0,50	-0,70	-0,49	0,06
2	1,00	-1,41	-0,99	0,11
3	1,25	-1,76	-1,24	0,14
4	1,50	-2,11	-1,48	0,17
5	1,75	-2,46	-1,73	0,20
6	2,00	-2,81	-1,98	0,23

* Нумерацию стержней и узлов см. на рис. 3.

оси узлового болта. Фасонки в точках Т1...Т4 (рис. 6) имеют минимальную жесткость. Контроль деформаций в этих точках позволил отследить момент потери несущей способности узловых соединений фермы.

В качестве испытательного стенда использован гидравлический пресс ПГ1000. Общий вид испытательного стенда и испытаний плоской фермы представлен на рис. 7. Ферма опиралась через шарниры на нижнюю траверсу пресса. Верхние узлы 1 и 3 (рис. 3) были закреплены от потери устойчивости из плоскости фермы.

Нагрузка на ферму создавалась с помощью гидравлического домкрата, который был установлен в центральной части распределительной

балки, опирающейся на два верхних узла (1 и 3) фермы. Усилие, создаваемое гидравлическим домкратом, контролировалось с помощью образцового динамометра сжатия грузоподъемностью 2 и 10 кН. Упором для силовой установки служила подвижная траверса пресса.

Было проведено два эксперимента с плоской фермой. В процессе первого эксперимента ферма была загружена пробной узловой нагрузкой 1 кН. Ферма опиралась на опоры через головки узловых болтов, соединяющие узловые фасонки. В этом эксперименте для контроля прикладываемой к ферме нагрузки использовался образцовый динамометр сжатия грузоподъемностью 2 кН. Первоначальная ступень нагружения составляла 0,2 кН, а на по-

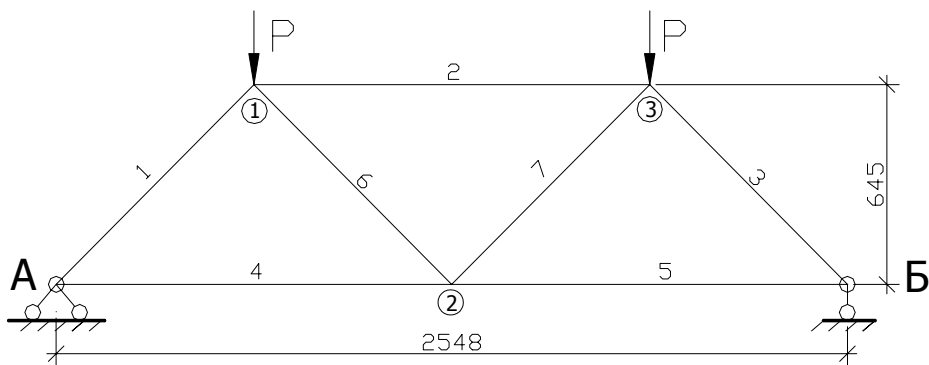


Рисунок 3. Расчетная схема плоской фермы с элементов структуры «ИНЕКО».

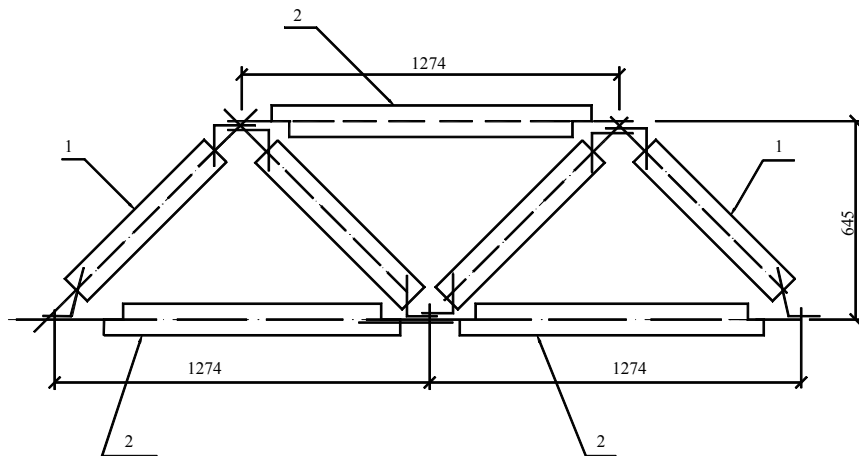


Рисунок 4. Схема плоской фермы: 1 — стандартный раскос структуры; 2 — специальный (диагональный) поясный элемент.

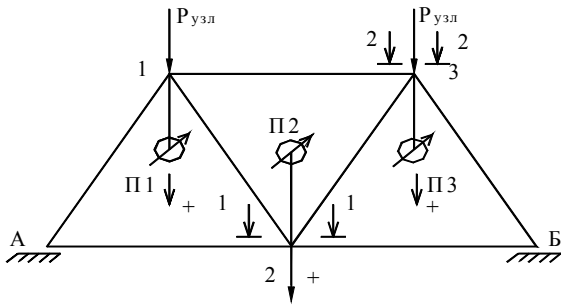


Рисунок 5. Схема нумерации узлов фермы и расстановки прогибомеров (П1, П2, П3).

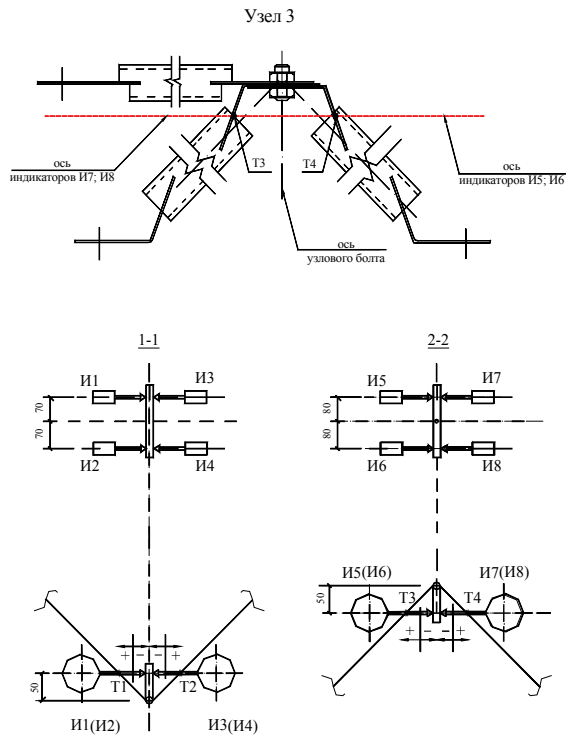


Рисунок 6. Схема расстановки индикаторов часового типа (И1–И8).

следних этапах нагружения она была снижена до 0,1 кН. После достижения узловой нагрузки 1 кН ферма была полностью разгружена.

Во втором эксперименте ферма была опята на опорные шарниры непосредственно нижним поясом (рис. 7). Это было сделано с целью создания благоприятных условий работы опорных узлов, т. к. в этом эксперименте не ставилась задача испытания опорных узлов. Для контроля усилия на ферму использовался образцовый динамометр сжатия грузоподъемностью

10 кН. Ступени нагружения составляли 0,50 и 0,25 кН. В ходе проведения этого эксперимента ферма была доведена до разрушения.

В процессе испытаний ферма нагружалась без динамических воздействий, а отчеты по приборам снимались после выдержки фермы под нагрузкой и стабилизации показаний приборов.

Численные значения перемещений узлов в вертикальной плоскости фермы второго эксперимента представлены в табл. 3, а графическое изображение на рис. 8. Результаты обработки первого эксперимента в отчете не представлены, т. к. он являлся пробным нагружением и они были повторены во втором эксперименте.

Максимальная разность перемещений точек Т1 и Т2 узловых фасонки раскосов в узле 2 фермы находилась в пределах $\pm 0,08$ мм, что говорит о симметричной работе узла.

Перемещения точек Т3 и Т4 узловых фасонки раскосов в узле 3 фермы (рис. 6) относительно продольной оси узлового болта представлены в табл. 4, а графическое изображение на рис. 9.

Разрушение фермы произошло при узловой нагрузке 1,95 кН. В крайних узлах верхнего пояса согнулись горизонтальные фасонки в вертикальной плоскости, в месте примыкания их к стержню пояса. Изгиб фасонки произошел за счет узлового момента, создаваемого гнутыми узловыми фасонками сжатого раскоса. Сжатый раскос в узле создает момент одного направления, что выразилось в общем повороте разрушенных узлов. В исследуемой ферме центральные раскосы являются нулевыми, что дает в узловом соединении только момент одного знака от сжатого опорного раскоса. В момент разрушения в опорном раскосе действовало усилие 2,75 кН.

Сравнение численных и экспериментальных исследований

Результаты сравнения численных и экспериментальных исследований деформированного состояния плоской фермы из стандартных элементов структуры «ИНЕКО» представлены в табл. 5 и рис. 10.

Численные и экспериментальные исследования деформированного состояния плоской фермы показали, что наиболее напряженными



Рисунок 7. Общий вид стенда испытаний плоской фермы со стандартных элементов структуры «ИНЕКО».

Таблица 3. Перемещения узлов плоской фермы со стандартных элементов структуры «ИНЕКО»

№ эксперимента	Узловая нагрузка $P_{\text{узл}}$, кН	Перемещения узлов*, мм		
		1	2	3
2	0,000	0,00	0,00	0,000
	0,500	1,02	1,14	0,970
	1,000	2,14	2,50	1,100
	1,250	2,72	3,15	1,620
	1,500	3,22	3,76	2,086
	1,750	3,93	4,58	2,760
	1,875	1 335,00	5,09	4,000
	1,950	Изгиб горизонтальной фасонки верхнего пояса в крайних узлах		

* Нумерация узлов и расстановка приборов дана на рис. 5.

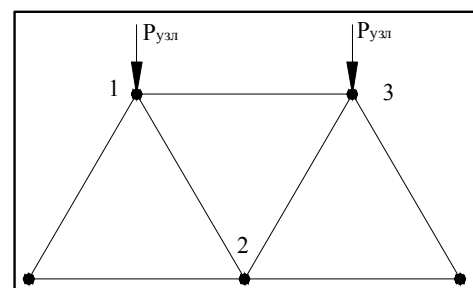
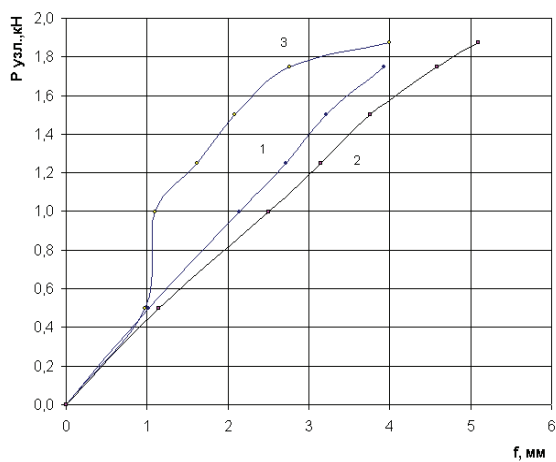


Рисунок 8. Графики прогибов (f) узлов 1, 2, и 3 фермы, в зависимости от узловой нагрузки ($P_{\text{узл}}$).

Таблица 4. Перемещения точек Т3 и Т4 узловых фасонок раскосов в узле 3 плоской фермы относительно от продольной оси узлового болта

№ эксперимента	Узловая нагрузка $P_{узд}$, кН	Значения перемещений по направлению индикаторов*, мм			
		И5	И6	И7	И8
2	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,500	-0,22	-0,45	0,22	0,21
	1,000	-0,28	-0,84	0,52	0,52
	1,250	-0,73	-1,02	0,66	0,61
	1,500	-0,93	-1,23	0,82	0,70
	1,750	-1,33	-1,66	1,08	0,90
	1,875	-1,49	-1,79	1,19	0,98
1,950	Изгиб горизонтальной фасонки верхнего пояса в крайних узлах				

* Расстановка приборов дана на рис. 6.

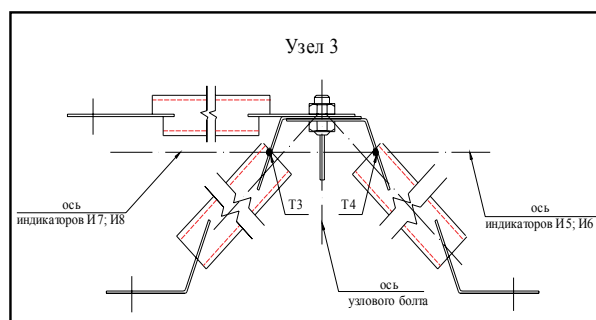
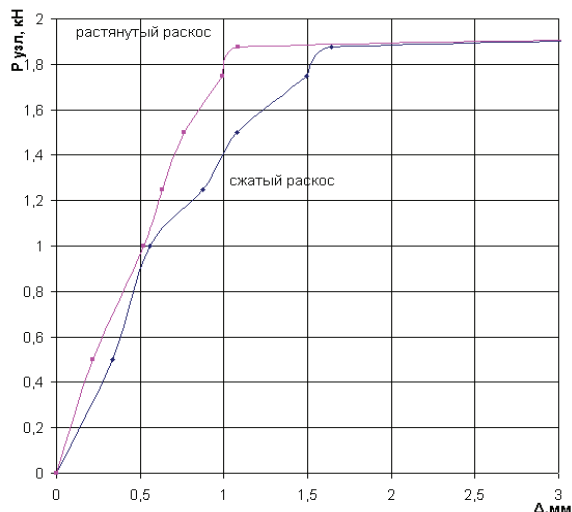


Рисунок 9. Графики перемещений (Δ) точек Т3 и Т4 узловых фасонки раскосов в узле 3 фермы относительно продольной оси узлового болта.

Таблица 5. Значения экспериментальных и теоретических прогибов фермы

Этап загрузки	Узловая нагрузка, $P_{узд}$, кН	Прогиб, мм			Коэффициент податливости узловых соединений фермы, $K_f = f_э / f_т$
		теоретический, $f_т$	экспериментальный, $f_э$	приращение, $\Delta f_э$	
1	0,000	0,000	0,00	—	—
2	0,500	0,057	1,14	1,14	20,0
3	1,000	0,113	2,50	1,36	22,1
4	1,250	0,141	3,15	0,65	22,3
5	1,500	0,170	3,76	0,61	22,1
6	1,750	0,198	4,58	0,81	23,1
7	1,875	0,212	5,09	0,51	24,0
8	1,950	Изгиб горизонтальной фасонки верхнего пояса в крайних узлах			

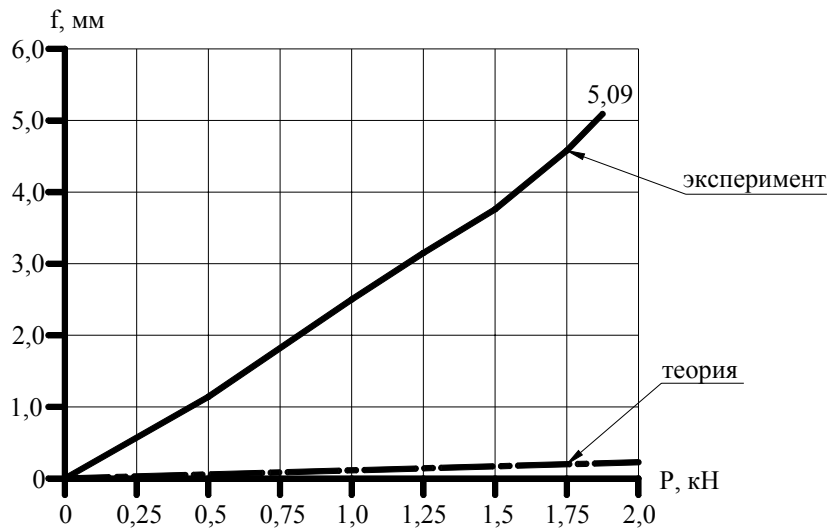


Рисунок 10. Зависимость прогиба (f) среднего узла (2) нижнего пояса фермы от узловой нагрузки (P).

являются опорные раскосы и узел сопряжения опорного раскоса с верхним поясом. На основании обработки численных и экспериментальных данных получено значение коэффициента K_p , учитывающего податливость узловых соединений плоских ферм, собранных из элементов структуры «ИНЕКО», равного – 22,3 (табл. 5).

Большое расхождение между теоретическим значением прогиба фермы, собранной из стандартных элементов структуры «ИНЕКО», и экспериментальным связано с высокой податливостью этих узловых соединений, которые соединяют 3–4 стержня.

Испытания проведены в лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

Выводы

1. На основании анализа существующих технических решений узловых соединений структурных покрытий предложено новое одноболтовое соединения «ИНЕКО», конкурентоспособное при использовании в легких металлических покрытиях.

2. Структура на основе узлового соединения «ИНЕКО» отличается высокой технологичностью, т. к. содержит всего два типоразмера: поясной и раскосный элемент.
3. Выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) фасонки раскоса и плоской фермы с элементов структуры с использованием программного комплекса «SCAD» без учета податливости узловых фасонки поясных и раскосных элементов.
4. На основании численных исследований получена теоретическая несущая способность узловой фасонки раскоса, которая определяет характер работы всей структуры.
5. Действительное НДС фасонки и плоской фермы исследовано экспериментально в процессе натурных испытаний плоской фермы, собранной из элементов структуры «ИНЕКО».
6. На основании сравнения численных и экспериментальных исследований получено значение податливости узловых фасонки, которую рекомендуется использовать при реальном проектировании структурных покрытий «ИНЕКО».

Литература

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. – На заміну ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 та ДСТУ Б В.2.6-194:2013 ; чинні з 2015–01–01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
2. Металлические конструкции. Общий курс [Текст] : Учебник для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др. ; Под общ. ред. Е. И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 560 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-199:2014. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення [Текст]. – Уведено вперше зі скасуванням частини 2 ДБН В.2.6-163:2010 ; чинний з 2015–07–01. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – 59 с.
4. Хисамов, Р. И. Расчет и конструирование структурных покрытий [Текст] / Р. И. Хисамов. – Киев : Будивельник, 1981. – 48 с.
5. Рекомендации по проектированию структурных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1984. – 303 с.
6. Никитюк, А. В. Достоинства и недостатки структурных конструкций [Текст] / А. В. Никитюк, А. А. Московкина, И. И. Зауева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2011. № 1. С. 99–104.
7. Пат. 106268 Российская Федерация, МПК⁵ E 04 B 1/58. Узловое соединение стержней пространственного каркаса [Текст] / Молодин А. В., Шнапцев А. В. ; заявитель и патентообладатель ООО «СтибМашПроект». – № 2011104204/03 ; заявл. 07.02.11 ; опубл. 10.07.11, Бюл. № 19. – 2 с. : ил.
8. Пат. 2496951 Российская Федерация, МПК⁵ E 04 B 1/58. Узловое соединение стержней пространственного каркаса [Текст] / Дмитриев П. А., Инжутов И. С., Деордиев С. В., Захарюта В. В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное ГОУ ВПО «Сибирский федеральный ун-т». – № 2012119759/03 ; заявл. 14.05.12; опубл. 27.10.13, Бюл. № 30. – 2 с. : ил.
9. Schumacher, M. Move – Architecture in Motion [Текст] / M. Schumacher, O. Schaeffer, M. M. Vogt. – Basel : Birkhauser Verlag AG, 2010. – 248 p. – ISBN 3764399864.
10. Драган, В. И. Большепролетные металлические структурные конструкции системы «БрГТУ» [Текст] / В. И. Драган, Н. Л. Морилова // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. 2010. Випуск 5. С. 72–82.
11. Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-

References

1. DBN V.2.6-198:2014. Steel structures. Design code. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014. 199 p. (in Ukrainian)
2. Belenia, E. I.; Baldin, V. A.; Vedenikov, G. S. [et al.]; Edited by Belenia, E. I. Metal Constructions. General Course. Textbook. The sixth edition, revised and enlarged. Moscow: Stroiizdat, 1985. 560 p. (in Russian)
3. DSTU B V.2.6-199:2014. Steel building structures. Fabrication rules. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2015. 59 p. (in Ukrainian)
4. Hisamov, R. I. Analysis and design engineering of structural roofs. Kyiv: Budivelynyk, 1981. 48 p. (in Russian)
5. V. A. Kuchenko Order of Labour Chief Research and Development Establishment of Civil Structure. Recommendations according to design engineering of structural constructions. Moscow: Stroiizdat, 1984. 303 p. (in Russian)
6. Nikitiuk, A. V.; Moskovkina, A. A.; Zaueva, I. I. Advantages and disadvantages of structural constructions. In: *PNRPU Construction and Architecture Bulletin*, 2011, No. 1, pp. 99–104. (in Russian)
7. Pat. 106268 Russian Federation, MPK⁵ E 04 B 1/58. Node connection of space frame bars / Molodin, A.V.; Shnaptsev, A. V.; proprietor LLC «StibMashProject». No. 2011104204/03; declaration 07.02.11; published 10.07.11, Bul. No. 19. 2 p. (in Russian)
8. Pat. 2496951 Russian Federation, MPK⁵ E 04 B 1/58. Node connection of space frame bars / Dmitriev, P. A.; Inzhutov, I. S.; Deordiev, S. V.; Zahariuta, V. V.; proprietor Federal state Educational Institution of Higher Professional Education «Siberian Federal University». No. 2012119759/03; declaration 14.05.12; published 27.10.13, Bul. No. 30. 2 p. (in Russian)
9. Schumacher, M.; Schaeffer, O.; Vogt, M. M. Move – Architecture in Motion. Basel: Birkhauser Verlag AG, 2010. 248 p. ISBN 3764399864.
10. Dragan, V. I.; Morilova, N. L. Long span steel structural constructions of the System «BrMTD». In: *Edited volume of V. M. Shimanovsky Ukrainian Research and Design Institute of Steel Constructions*, 2010, Issue 5, pp. 72–82. (in Russian)
11. Inzhutov, I. S.; Dmitriev, P. A.; Deordiev, S. V.; Zaharyuta, V. V. Analysis of available space structure joints and design of demountable modular joints. In: *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2013, No. 3, pp. 61–71. (in Russian)
12. Pat. 83349 Ukraine, MPK E 04 B 1/58. Node connection bars of net-line coating shell / Siyanov, O. I.; proprietor Vinnytsia National Technical University. No. 201300296; declaration 09.01.13; published 10.09.13, Bul. No. 17. 3 p. (in Ukrainian)
13. Pat. 154891 Russian Federation, MPK⁵ E 04 B 1/58. Node connection bars of buildings and structures space frame / Kolesnikov, D. A.; proprietor Kolesnikov, D. A. No. 2015102997/03; declaration 29.01.15; published 29.01.15, Bul. No. 25. 2 p. (in Russian)

- разборного узлового элемента [Текст] / И. С. Инжутова, П. А. Дмитриев, С. В. Деордиев, В. В. Захарюта // Вестник МГСУ. 2013. № 3. С. 61–71.
12. Пат. 83349 Україна, МПК E 04 B 1/58. Вузол з'єднання стержнів оболонки сітчастого покриття [Текст] / Сіянов О. И. ; власник Вінницький національний технічний університет. – № 201300296 ; заявл. 09.01.13 ; опубл. 10.09.13, Бюл. № 17. – 3 с. : іл.
 13. Пат. 154891 Российская Федерация, МПК⁵ E 04 B 1/58. Узловое соединение стержней пространственного каркаса зданий и сооружений [Текст] / Колесников Д. А. ; заявитель и патентообладатель Колесников Д. А. – № 2015102997/03 ; заявл. 29.01.15; опубл. 29.01.15, Бюл. № 25. – 2 с. : ил.
 14. Митрофанов, С. В. Работа узловых соединений структурной конструкции с элементами решетки, выполненной из круглой трубы [Текст] / С. В. Митрофанов // Строительство и техногенная безопасность. 2013. Выпуск 46. С. 20–24.
 15. Москалев, М. Б. Совершенствование плитно-структурных металлодеревянных конструкций [Текст] : автореф. диссертации на получ. научн. степени канд. техн. наук : 05.23.01 / Москалев Михаил Борисович ; Мин-во науки и образования Российской Федерации. – Санкт-Петербург, 2011. – 20 с. : ил., табл., граф.
 16. Пат. 32150 Україна, МПК E04B 1/38 (2006.01). Просторова стрижнева конструкція [Текст] / В. О. Митрофанов, В. П. Сінцов, С. В. Митрофанов, О. В. Митрофанов ; власник В. О. Митрофанов. – № u200713343 ; заявл. 30.11.2007 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9. – 21 с. : ил.
 17. Caia, Jianguo. Development and analysis of a long-span retractable roof structure [Текст] / Jianguo Caia, Jian Fenga, Chao Jiang // Journal of Constructional Steel Research. 2014. Volume 92. P. 175–182.
 18. Makowski, Z. S. Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures [Текст] / Z. S. Makowski // IASS 2002: Lightweight structures in civil engineering : Proceedings of the international symposium / Polish Chapter of International Association for Shell and Spatial Structures. – Warsaw (Poland) : Micro-Publisher Jan B. Obrebski, 2002. – P. 17–41.
 19. Зуева, И. И. Особенности проектирования структурных конструкций типа «ЦНИИСК» [Текст] / И. И. Зуева, С. Л. Иванова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2013. № 1. С. 91–97.
 20. Инжутов, И. С. Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-разборного узлового элемента [Текст] / И. С. Инжутова, П. А. Дмитриев, С. В. Деордиев, В. В. Захарюта // Вестник Московского государственного строительного университета. 2013. № 3. С. 61–71.
 21. Кагановский, Л. О. Новые решения узловых соединений стержней структурных и однослойных
 22. Mitrofanov, S. V. The action of node connection of structural construction, having webbing, and made from circular pipe. In: *Construction and technogenic safety*, 2013, Issue 46, pp. 20–24. (in Russian)
 23. Moskalev, M. B. The improving of slabby structural steel and wood constructions: Author's abstract the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering: 05.23.01. St. Petersburg, 2011. 20 p. (in Russian)
 24. Pat. 32150 Ukraine, MPK E04B 1/38 (2006.01). Space framework / V. O. Mitrofanov, V. P. Sintsov, S. V. Mitrofanov, O. V. Mitrofanov; proprietor V. O. Mitrofanov. No. u200713343; declaration 30.11.2007; published 12.05.2008, Bul. No. 9. 21 p. (in Ukrainian)
 25. Caia, Jianguo; Fenga, Jian; Jiang, Chao. Development and analysis of a long-span retractable roof structure. In: *Journal of Constructional Steel Research*, 2014, Volume 92, pp. 175–182.
 26. Makowski, Z. S. Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures. In: *IASS 2002: Lightweight structures in civil engineering: Proceedings of the international symposium / Polish Chapter of International Association for Shell and Spatial Structures*. Warsaw (Poland): Micro-Publisher Jan B. Obrebski, 2002, pp. 17–41.
 27. Zueva, I. I.; Ivanova, S. L. Features of design of structural designs of the CNIISK type. In: *PNRPU Construction and Architecture Bulletin*, 2013, No. 1, pp. 91–97. (in Russian)
 28. Inzhutov, I. S.; Dmitriev, P. A.; Deordiev, S. V.; Zakharyuta, V. V. Analysis of available space structure joints and design of demountable modular joints. In: *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2013, No. 3, pp. 61–71. (in Russian)
 29. Kaganovskii, L. O. Advanced solution of bars node connection of structural and single-ply frame constructions. In: *Edited volume of V. M. Shimanovsky Research and Design Institute of Steel Constructions*, 2010, Issue 5, pp. 192–198. (in Russian)
 30. Huberman, N.; Pearlmutter, D.; Galb, E.; Meira, I. A. Optimizing structural roof form for life-cycle energy efficiency. In: *Energy and Buildings*, 2015, Volume 104, pp. 336–349.
 31. Pat. 153964 Russian Federation, MPK⁵ E 04 B 1/58. Bars node connection of buildings and structures space frame / Kolesnikov, D. A.; proprietor Kolesnikov, D. A. No. 2015106971/03; declaration 27.02.15; published 10.08.15, Bul. No. 22. 2 p. (in Russian)
 32. Kuzhakova, V. G.; Nazmeyeva, T. V. Node connections of cold-formed steel structures. In: *Magazine of Civil Engineering*, 2011, No. 3, pp. 47–52. (in Russian)
 33. Pat. 126028 Russian Federation, MPK E 04 B 1/58. Node connection of units space frame / Raspopov, S. S.; proprietor LLC «Volya». No. 2012144523/03; declaration 19.10.12; published 20.03.13, Bul. No. 8. 2 p. (in Russian)
 34. Antoniou, N.; Nikolaidis, Th.; Baniotopoulou, C. C. Designing long-span steel girders by applying displacement control concepts. In: *Engineering Structures*, 2014, Volume 59, pp 21–27.

- решетчатых конструкций [Текст] / Л. О. Кагановский // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського / Під загальною редакцією заслуженого діяча науки і техніки України, д. т. н., професора О. В. Шимановського. К.: Сталь, 2010. Випуск 5. С. 192–198.
22. Optimizing structural roof form for life-cycle energy efficiency [Текст] / N. Huberman, D. Pearlmuttera, E. Galb, I. A. Meira // *Energy and Buildings*. 2015. Volume 104. P. 336–349.
23. Пат. 153964 Российская Федерация, МПК⁵ E 04 B 1/58. Узловое соединение стержней пространственного каркаса зданий и сооружений [Текст] / Колесников Д. А.; заявитель и патентообладатель Колесников Д. А. – № 2015106971/03; заявл. 27.02.15; опубл. 10.08.15, Бюл. № 22. – 2 с.: ил.
24. Кужакова, В. Г. Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях [Текст] / В. Г. Кужакова, Т. В. Назмеева // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 3. С. 47–52.
25. Пат. 126028 Российская Федерация, МПК E 04 B 1/58. Узловое соединение элементов пространственного каркаса [Текст] / Распопов С. С.; заявитель и патентообладатель ООО «Воля». – № 2012144523/03; заявл. 19.10.12; опубл. 20.03.13, Бюл. № 8. – 2 с.: ил.
26. Antoniou, N. Designing long-span steel girders by applying displacement control concepts [Текст] / N. Antoniou, Th. Nikolaidis, C. C. Baniotopoulos // *Engineering Structures*. 2014. Volume 59. P. 21–27.
27. Optimizing structural roof form for lifecycle energy efficiency [Текст] / N. Huberman, D. Pearlmuttera, E. Galb, I. A. Meira // *Energy and Buildings*. 2015. Volume 104. P. 336–349.

Василев Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри металевих конструкцій, начальник Лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження роботи опор ліній електропередавання; регулювання і врахування внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

Мушанов Володимир Пилипович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів» та міжнародної асоціації «Просторові конструкції», академік Академії будівництва України і Української академії наук, член-кореспондент Академії архітектури України. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Альохін Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи опор ліній електропередавання (ПЛ) і антенних опор радіорелейного зв'язку. Статичні і динамічні випробування металевих, залізобетонних і дерев'яних споруд і всіх видів будівельних конструкцій будівель і споруд.

Миронов Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: сталезалізобетонні конструкції (трубобетонні конструкції); напружено-деформований стан рамних вузлів трубобетонних конструкцій, концентрація напружень в трубобетонних вузлах, втомна міцність трубобетонних конструкцій.

Безушко Анна Володимирівна – аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових металевих конструкцій.

Васылев Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры металлических конструкций, начальник Лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работы опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатаного проката в строительных конструкциях.

Муцанов Владимир Филипович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член международной организации «Институт гражданских инженеров» и международной организации «Пространственные конструкции», академик Академии строительства Украины и Украинской академии наук, член-корреспондент Академии архитектуры Украины. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Алехин Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы опор линий электропередачи (ВЛ) и антенных опор радиорелейной связи; статические и динамические испытания металлических, железобетонных и деревянных сооружений и всех видов строительных конструкций зданий и сооружений.

Миронов Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: сталежелезобетонные конструкции (трубобетонные конструкции); напряженно-деформируемое состояние рамных узлов трубобетонных конструкций, концентрация напряжений в трубобетонных узлах, усталостная прочность трубобетонных конструкций.

Безушко Анна Владимировна – аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.

Vasylev Volodymyr – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Metal Structures Department, Head of the Laboratory of Testing Building Structures and Buildings, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and record of the inner stressed state of the hot rolled metal in building structures.

Mushchanov Volodymyr – D.Sc. (Engineering), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer» and international organization of «Spatial Structures», the academician of the Civil Engineering Academy in Ukraine and the Academy of Sciences of Ukraine, an associate member of the Academy of Architecture of Ukraine. Scientific interests: the reliability theory, analyze, designing and engineering diagnostics of spatial metallic structures.

Alyokhin Andrey – Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work of power lines supports (OHPL) and microwave transmission antenna towers; static and dynamic testing of metal, concrete and wood structures and all kinds of constructions and structures.

Myronov Andrii – Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: steel and reinforced concrete structures (concrete tube structures); stress-strain state of the frame joints of the concrete chimney structures, stress concentration in concrete chimney joints, fatigue strength concrete chimney structures.

Bezushko Anna – post-graduate student, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analysis and design of spatial metal structures.