

УДК 624.014:624.012

И. М. ГАРАНЖА, Н. М. ЗАЙЧЕНКО, А. В. ТАНАСОГЛО, Ж. Н. ВОЙТОВА, С. В. ГАРАНЖА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН КАК ОСНОВА МЕТАЛЛОКОМПЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с возможностью практического использования самоуплотняющегося бетона в металлокомпозитных конструкциях, учитывая его особенности как конструкционного материала. Экспериментальным путем получен состав и дозировки компонентов самоуплотняющегося бетона классов В20...В40. В результате механических испытаний получены реальные физико-механические характеристики бетона – кубиковая и цилиндрическая прочность, модуль упругости. Выполнены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния многогранных трубобетонных элементов с применением самоуплотняющегося бетона при центральной сжатии, на основании результатов которых определены разрушающая нагрузка (несущая способность), характер разрушения, а также порядок разрушения материалов в составе композитной конструкции.

металлические многогранные стойки, трубобетонные конструкции, самоуплотняющийся бетон, минеральные добавки, прочность бетона, модуль упругости, несущая способность

ВВЕДЕНИЕ

Современные строительные конструкции любой направленности должны соответствовать ужесточенным требованиям прочности, надежности, долговечности, экономичности и эстетичности. Не исключением в этом аспекте являются и многогранные трубобетонные конструкции для создания объектов городской инфраструктуры: опоры воздушных линий электропередачи (ВЛ), башни мобильной связи, осветительные стойки, опоры контактной сети горэлектро- и ж/д транспорта и т. д. (рис. 1) [1–4]. Создание такого рода композитных конструкций предполагает необходимость использования в их составе материалов, способных обеспечить соответствие предлагаемых объектов городского строительства всем вышеупомянутым требованиям. Таковыми могут быть самоуплотняющийся бетон (СУБ) и металлические многогранные гнутые стойки (МГС).



Рисунок 1 – Перспективные трубобетонные объекты.

Целью работы является получение модифицированного состава самоуплотняющегося бетона, а также экспериментальное определение его реальных физико-механических характеристик (прочность при сжатии и модуль упругости) и особенностей работы под нагрузкой в составе металлокомпозитной (трубобетонной) конструкции.

Обоснование выбора СУБ и МГС в качестве конструктивных материалов

Предлагаемые композитные объекты – это конструкции, основанные на уже апробированных в практике строительства металлических многогранных стойках (количество граней $n = 6...24$), заполненные самоуплотняющимся бетоном [1–6]. МГС представляют собой конические трубы коробчатого многогранного сечения, изготавливаемые изгибом стального листа с последующим свариванием его замыкающего стыка на ребре или грани (рис. 2) [5, 6].

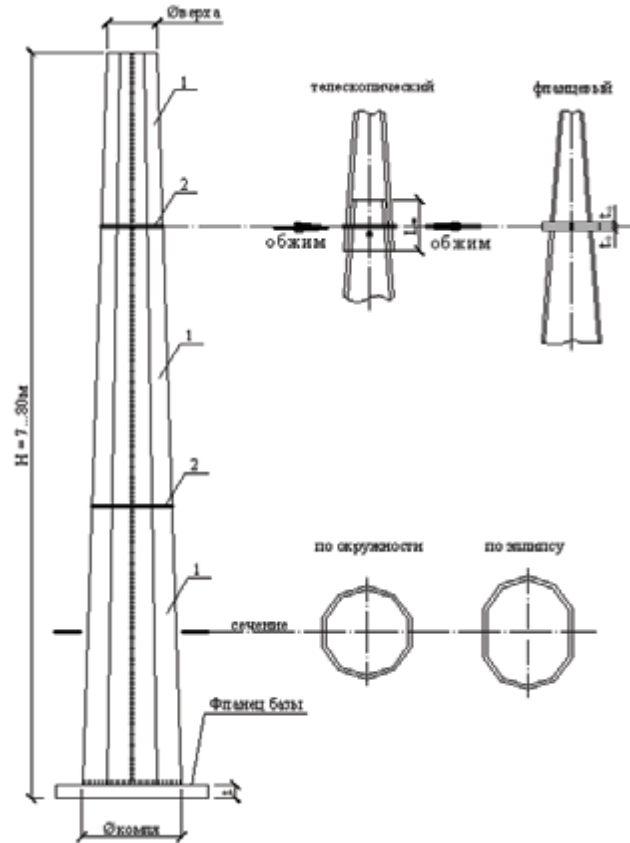


Рисунок 2 – Общая конструктивная схема МГС: 1 – секция; 2 – стык секций.

Самоуплотняющийся бетон – это многокомпонентный композиционный силикатный материал, который в свежеприготовленном состоянии обладает таким уровнем текучести и подвижности, что бетонная смесь способна заполнять опалубку в процессе укладки только за счет собственного веса и достигать требуемой степени уплотнения без применения какого-либо внешнего уплотняющего воздействия [7–10].

Почему принято сочетание МГС и СУБ – во-первых, МГС являются эстетически привлекательными элементами. Во-вторых, узкобазымы, что значительно снижает землеотвод под строительство [5, 6]. И эти свойства являются особо актуальными при возведении объектов в городских условиях (опоры низковольтных ВЛ, башни мобильной связи, осветительные стойки и многое другое). Однако у ММТ есть один существенный недостаток – перерасход стали за счет замкнутости сечения [6]. Поэтому, заполняя внутренние полости бетоном, возможно значительное уменьшение расхода стали и, как следствие, снижение стоимости конструкции в целом, при этом сохраняя эстетичность и узкобазымость конструкции. Кроме того, совместная работа стали и бетона – это некий механический симбиоз, при котором труба сдерживает развитие микротрещин в бетоне, а бетон, в свою очередь, снижает вероятность потери устойчивости трубы [1–6].

Рассматривая МГС, имеющих форму усеченного конуса, в качестве базиса можно сделать вывод о практической невозможности их бетонирования в заводских условиях. Следовательно, необходимо иметь такой материал, который позволит качественно создать трубобетонные конструкции в условиях строительной площадки. Таким представляется самоуплотняющийся бетон.

Выбор данного типа бетона основывается на его *положительных особенностях* как конструкционного материала, в частности [7, 8, 11, 12, 15]:

- качественное заполнение внутренней полости ММТ;
- отсутствие необходимости в вибрировании при монтаже;
- снижение сроков строительства;
- минимизация наличия пустот и дефектов;
- соизмерим по стоимости с классическим бетоном (а в ряде случаев и дешевле!!!).

В то же время характерными *недостатками* СУБ являются:

- невозможность использования в зимний период (возможно только с применением противоморозных добавок, которые существенно ускоряют сроки схватывания);
- удорожание за счет использования в их составе минеральных добавок – микрокремнезема или золы-уноса (ТЭС);
- возможен эффект «седиментации» (оседание частиц крупного заполнителя под действием сил гравитации), особенно при использовании СУБ в вертикальных опалубках. В данном случае в состав бетона необходимо дополнительно вводить специальные добавки «модификаторы вязкости», повышающие когезию цементной пасты, что позволит исключить эффект седиментации без потери уже имеющихся преимуществ СУБ.

Определение состава и дозировок компонентов СУБ опытным путем

Известно, что в состав СУБ входят следующие компоненты: крупный и мелкий заполнители (щебень и песок, соответственно), цемент, вода, пластификатор и, как особенность, минеральные добавки в виде микрокремнезема или золы ТЭС, направленные на значительное повышение прочности материала [7–15]. В то же время анализ результатов предварительных аналитических расчетов многогранных трубобетонных конструкций на различные силовые факторы, выполненных по отечественным и зарубежным методикам с учетом реальных эксплуатационных нагрузок, указывают на отсутствие необходимости использования в рассматриваемых композитных конструкциях высокопрочных бетонов, которые достаточно дорогостоящие. В связи с чем совместно с испанскими коллегами из университета г. Аликанте была предпринята попытка экспериментально получить более экономичный состав СУБ.

Предварительные тестовые испытания образцов самоуплотняющегося бетона с добавкой микрокремнезема или золы еще раз подтвердили слишком высокую прочность исследуемого материала и невозможность результирующего выхода на СУБ более низких классов (ниже В40). Опираясь на полученные результаты, было принято решение отказаться от использования минеральных добавок по следующим причинам:

- добавление микрокремнезема в состав бетона резко увеличивает его прочность и стойкость смеси к расслоению, но в то же время существенно снижает ее подвижность и повышает стоимость;
- зола ТЭС также, как и микрокремнезём, повышает прочность бетона, и кроме того, полученная на различных станциях, она имеет разные характеристики и свойства, что делает невозможным нахождение единого состава бетона с применением данного материала.

Впоследствии проведена вторая серия механических испытаний образцов-кубиков размерами 150×150×150 мм на осевое сжатие с различными дозировками компонентов (рис. 3).

Образцы бетона испытывали согласно стандартной методике, определяли предел прочности при сжатии в возрасте 7 (R7, МПа) и 28 (R28, МПа) суток твердения образцов в нормальных условиях твердения. В результате предложены дозировки компонентов для самоуплотняющихся бетонов классов В20...В40 без использования минеральных упрочняющих добавок с требуемым уровнем подвижности. Под термином «подвижность» бетонной смеси понимается диаметр расплыва бетонной смеси без встряхивания и уплотнения, полученный при использовании «конуса Абрамса» [15]. Параметр подвижности постоянно контролировался на протяжении всего процесса испытаний, при этом минимальный диаметр расплыва бетонной смеси D принимался не менее 500 мм, который указывает на достаточную подвижность СУБ для рассматриваемых конструкций. В конечном итоге для полученных составов СУБ параметр D находится в пределах 540...620 мм (рис. 4).

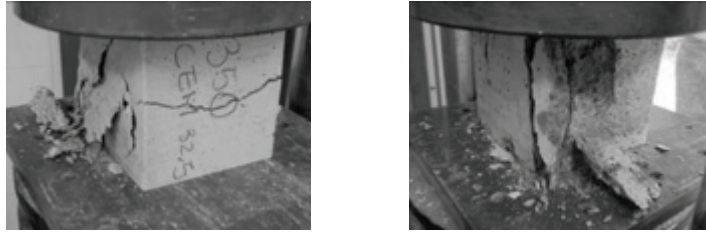


Рисунок 3 – Процесс испытания образцов-кубиков самоуплотняющегося бетона.



Рисунок 4 – Контроль подвижности и отсутствия эффекта расслоения СУБ.

Экспериментальное определение реальных физико-механических СУБ

На следующем этапе проведены механические испытания цилиндрических образцов из самоуплотняющегося бетона предложенного состава (классов В20, В25 и В30) при центральном сжатии, с целью экспериментально определить реальные значения их физико-механических характеристик – призмную прочность бетона R_b (МПа) и модуль упругости E (МПа), в соответствии со специальными нормативными документами Испании [16, 17].

В качестве испытываемых были приняты цилиндрические образцы, изготовленные из СУБ предложенного состава диаметром $d = 150$ мм и высотой $H = 2d = 300$ мм.

При определении прочности бетона на сжатие испытываются три образца под прессом, при линейно возрастающей нагрузке со скоростью в пределах $0,2...1,0$ МПа/с до их разрушения. Конечный результат R_b получается путем нахождения среднего значения прочностей, полученных по трём образцам [16].

Процесс экспериментального определения модуля упругости бетона согласно [17] происходит в два этапа, каждый из которых включает в себя четыре цикла, а именно (рис. 5):

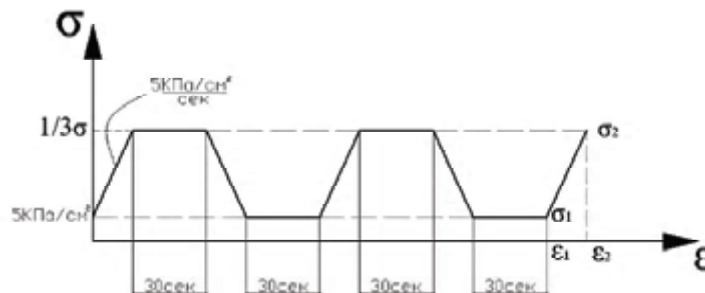


Рисунок 5 – Графический алгоритм определения модуля упругости бетона.

- 1) нагружение образца от начального напряжения $\sigma_1 = 5$ кПа/см² до $1/3$ его призмной (цилиндрической) прочности $\sigma_{пр}$;
- 2) выдерживание образца в нагруженном состоянии (при $1/3 \sigma_{пр}$) в течение 30 секунд;
- 3) разгрузка до значения напряжения в образце σ_1 ;
- 4) выдерживание образца при напряжении σ_1 в течение 30 секунд.

Вышеупомянутый набор циклов повторяется дважды. По окончании циклов, используя специальные тензодатчики и тензометрическое устройство (рис. 6), фиксируются напряжения в образце и соответствующие им деформации, по которым и вычисляется модуль упругости бетона (табл. 1).



Рисунок 6 – Экспериментальное определение модуля упругости самоуплотняющегося бетона.

Таблица 1 – Экспериментальные физико-механические характеристики самоуплотняющегося бетона при центральном сжатии

Класс бетона	Цилиндрическая прочность R_b , МПа	Модуль упругости E , МПа
B20	10,5	45 411,7
B25	13,9	47,635,1
B30	15,9	49 238,1

Экспериментальные исследования характера разрушения трубобетонных конструкций на основе СУБ

На заключительном этапе работы выполнены экспериментальные исследования несущей способности многогранных трубобетонных элементов с применением самоуплотняющегося бетона при центральном сжатии. Для проведения исследований было изготовлено восемь металлических многогранных образцов, в качестве заполнителя которых использовался самоуплотняющийся бетон предложенных составов для классов B20 и B30. Нагружалась бетонная часть образцов линейно возрастающей нагрузкой и конструкция доводилась до разрушения. В результате были определены: разрушающая нагрузка (несущая способность элементов) и характер разрушения образцов.

Анализ результатов испытания трубобетонных многогранников показал очередность разрушения материалов в составе композитной конструкции, при которой предельное состояние наступает первым для стальной трубы. Характерными видами разрушения являются развитие пластических деформаций и разрыв продольных сварных швов (рис. 7), что, в принципе, подтвердило предварительные расчетные предпосылки.

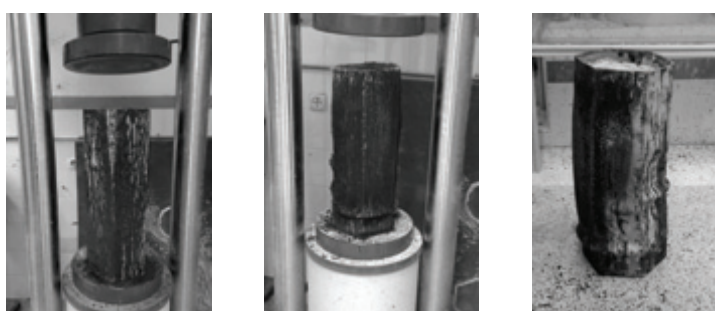


Рисунок 7 – Характер разрушения трубобетонных образцов.

ВЫВОД

Полученные составы СУБ низких классов по прочности, безусловно, не являются окончательными и готовыми к практическому использованию. Это лишь подспорье к более углубленному изучению материала, особенностей его механической работы с целью в конечном итоге выйти на конкретный экономичный состав СУБ, способный качественно работать в составе предлагаемых конструкций. Аналогичная ситуация и с предлагаемыми трубобетонными конструкциями, так как для получения возможности полноценного их внедрения в практику строительства необходимо детально проработать вопросы НДС, надежности, обосновать их экономическую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаранжа, И. М. Модифицированные опоры воздушных линий электропередачи на основе металлических многогранных стоек [Текст] / И. М. Гаранжа // Воздушные линии. – Санкт-Петербург, 2013. – № 3 (12). – С. 15–20.
2. Гаранжа, И. М. Эффективные электросетевые конструкции на основе многогранных трубобетонных стоек [Текст] / И. М. Гаранжа // Современные строительные конструкции из металла и древесины : Сборник научных трудов. – Одесса : ОГАСА, 2013. – № 17. – С. 45–50.
3. Garanzha, I. Analytical methods for determination a load capacity of concrete-filled tubes under axial compression [Текст] / I. Garanzha, N. Vatın // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 633–634. – P. 965–971.
4. Гаранжа, И. М. О подходах к расчету трубобетонных конструкций в Украине и за рубежом [Текст] / И. М. Гаранжа // Металлические конструкции. – 2014. – Т. 20, № 1. – С. 45–53.
5. Гаранжа, И. М. Эффективность применения многогранных гнутых стоек (МГС) для опор воздушных линий электропередачи (ВЛ) в условиях современной Украины [Текст] / И. М. Гаранжа, В. Н. Васылев // Металлические конструкции. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 163–168.
6. Гаранжа, І. М. Напружено-деформований стан металевих багатограних стояків с урахуванням особливостей вітрового впливу [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 / Гаранжа І. М. ; Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2012. – 20 с.
7. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : АСВ, 2006. – 368 с.
8. Зайченко, Н. М. Оптимизация состава высокопрочного бетона по критериям удобоукладываемости смесей и прочности бетона [Текст] / Н. М. Зайченко, А. К. Халюшев, Е. В. Сахошко // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – Одеса : МПП «ЕВЕН», 2004. – Вип. 15. – С. 126–133.
9. Зайченко, Н. М. Самоуплотняющиеся бетоны, дисперсно-армированные полимерными волокнами [Текст] / Н. М. Зайченко, С. В. Лахтарина // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2013. – Вип. 22. – С. 63–70.
10. Bartos, P.J.M. Self-compacting concrete [Текст] / P.J.M. Bartos // Concrete. – 1999. – Vol. 33(4). – P. 9–14.
11. Siddique, R. Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash [Текст] / R. Siddique // Mater Des. – 2011. – Vol. 32, № 1501. – P. 7–18.
12. Felekoplu, B. Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizer on workability retention of self-compacting concrete [Текст] / Burak Felekoplu, Hasan Sarikahya // Construction and Building Materials. – 2008. – Vol. 22, No 9. – P. 1972–1980.
13. Okamura, H.M. Self-compacting concrete [Текст] / H.M. Okamura, M. Ouchi // J Adv Concr Technol. – 2003. – Vol. 1(1). – P. 5–15.
14. Domone, P.L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies [Текст] / P.L. Domone // Cem Concr Compos. – 2006. – Vol. 28. – P. 197–208.
15. Подбор состава самоуплотняющегося бетона без минеральных добавок для использования в трубобетонных конструкциях [Текст] / И. М. Гаранжа, С. В. Лахтарина, Н. М. Зайченко [и др.] // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2015. – Т. 11, № 3. – С. 119–130.
16. UNE-EN 12390-3:2001. Ensayos de hormigyn endurecido [Текст]. Parte 3: Determinaciyn de la resistencia a compresiyn de probetas / Norma espacola. – Madrid : Asociaciyn Espacola de Normalizaciyn y Certificaciyn, 2001. – 19 p.
17. UNE 83316:1996. Ensayos de hormigyn. Determinaciyn del mydulo de elasticidad en compresiyn [Текст] / Norma espacola. – Madrid : Asociaciyn Espacola de Normalizaciyn y Certificaciyn, 1996. – 16 p.

Получено 09.03.2016

І. М. ГАРАНЖА, М. М. ЗАЙЧЕНКО, А. В. ТАНАСОГЛО, Ж. М. ВОЙТОВА,
С. В. ГАРАНЖА

БЕТОН, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, ЯК ОСНОВА
МЕТАЛОКОМПЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті розглянуті питання, пов'язані з можливістю практичного використання бетону, що самоупільнюється, в металокомпозитних конструкціях, враховуючи його особливості як конструкційного матеріалу. Експериментальним шляхом отримано склад та дозування компонентів бетону, що самоупільнюється, низьких класів (B20...B40). В результаті механічних випробувань отримані реальні фізико-механічні характеристики бетону – кубікова і циліндрична міцність, модуль пружності. Виконані експериментальні дослідження напружено-деформованого стану багатограних трубобетонних елементів із застосуванням бетону, що самоупільнюється, при центральному стиску, на основі результатів яких визначено руйнівне навантаження (несуча здатність), характер руйнування, а також порядок руйнування матеріалів у складі композитної конструкції.

металеві багатогранні стояки, трубобетонні конструкції, бетон що самоупільнюється, мінеральні добавки, кубкова та циліндрична міцність бетону, модуль пружності, несуча здатність

IGOR GARANZHA, MYKOLA ZAICHENKO, ANTON TANASOGLO,
ZHANNA VOITOVA, SOFIIA GARANZHA
SELF COMPACTING CONCRETE AS A BASE OF STEEL-COMPOSITE
STRUCTURES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the questions, related to a possibility of a practical use of a self-compacting concrete in steel-composite structures, taking into account its characteristics as a structural material. Experimentally it has been obtained composition and a dosage of SCC components grade C20...C40. As a result of mechanical tests was obtained the real physical-mechanical characteristics of the concrete – a cube and cylindrical strength and a modulus of elasticity. It has been carried out the experimental researches of a stress-strain state of multifaceted pipe-concrete elements using SCC under axial compression, based on the results of which determined the breaking load (load capacity), the nature of the destruction, and the a destruction procedure of materials as part of the composite structure.

steel multifaceted poles, pipe-concrete structures, self-compacting concrete, mineral additives, cube and cylindrical strength, modulus of elasticity, load capacity

Гаранжа Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих, багатограних листових і трубобетонних опор повітряних ліній електропередач, створення нових конструктивних рішень опор ПЛ із застосуванням прогресивних технологій і матеріалів.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Танасогло Антон Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор, вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

Войтова Жанна Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування металевих і дерев'яних конструкцій.

Гаранжа Софія Віталіївна – магістрант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи і пошук раціональних конструктивних рішень трубобетонних конструкцій з використанням прогресивних матеріалів.

Гаранжа Ігорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы металлических решетчатых, многогранных листовых и трубобетонных опор воздушных линий электропередачи, создание новых конструктивных решений опор ВЛ с применением прогрессивных технологий и материалов.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Танасогло Антон Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор, изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

Войтова Жанна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование металлических и деревянных конструкций.

Гаранжа София Витальевна – магистрант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы и поиск рациональных конструктивных решений трубобетонных конструкций с использованием прогрессивных материалов.

Garanzha Igor – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work steel lattice, multifaceted and composite

supports of overhead power transmission lines. Creation new constructive decisions of OPTL supports with application progressive technologies and materials.

Zaichenko Mykola – D.Sc. (Eng.), Professor, the Head of Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes based on modified fillers.

Tanasoglo Anton – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal designing of overhead power transmission line and antenna support structures, studying of the valid work of metal lattice tower supports.

Vojtova Zhanna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: optimal design of metal and wooden structures.

Garanzha Sofia – master student, Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: a studying of a real work of pipe-concrete structures using advanced materials.