

УДК 691.328.1

В. И. КОРСУН, Н. А. ВИНОГРАДОВА, Г. А. ШВЕЦ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЧЕТА В ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТАХ СТАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ В КАЧЕСТВЕ ВНЕШНЕЙ АРМАТУРЫ В ЭЛЕМЕНТАХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Аннотация. Данная статья посвящена решению актуальной в современном строительстве задачи снижения веса строительных конструкций при сохранении несущей способности. Описаны проведенные авторами прочностные испытания, показывающие положительное влияние стального профиля на несущую способность элементов сборно-монолитных перекрытий. Также приведены теоретические исследования, подтверждающие результаты эксперимента и показывающие эффективность учета в прочностных расчетах влияния профиля.

Ключевые слова: сборно-монолитные перекрытия, сталежелезобетонные балки, прочностные испытания.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В России сталежелезобетонные конструкции не являются новыми, однако не получают широкого распространения. Область их применения весьма ограничена: многопролетные и мостовые сооружения, водоводы и трубопроводы в гидроэлектростанциях, путепроводы и виадуки. В отдельных случаях сталежелезобетонные конструкции используют в строительстве высотных зданий.

Данная ситуация возникла в связи со сложностью их расчета и отсутствием на протяжении долгого времени актуальных нормативных документов по проектированию. Несомненно, введение СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» даст старт более широкому применению этого вида конструкций.

Однако сборно-монолитные перекрытия с балками по профилированному стальному настилу, которым посвящено данное исследование, в новом СП не представлены, что говорит о недостаточной их экспериментальной и теоретической изученности.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) сталежелезобетонных конструкций проводят различные эксперименты: численные (аналитические) и натурные. Численные методы исследования поведения конструкции с помощью различных программных комплексов являются малозатратными по сравнению с экспериментальными исследованиями, однако последние имеют явное преимущество – наиболее обширные и достоверные сведения об НДС конструкции и особенностях ее поведения в реальных условиях эксплуатации.

В последние годы экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций проводились в КазГАСУ [1], СПбПУ Петра Великого [2], Белорусско-Российском университете [3], японском Технологическом университете Кочи [4], Техническом университете г. Кошица [5]. В результате были получены обширные экспериментальные данные о них, апробированы и предложены к внедрению различные новые конструктивные решения.

Аналитические исследования проводились исследователями СПбГАСУ [6, 7], СПбПУ Петра Великого [8], Сиднейского университета [9], Политехнического университета Гонконга [10], Технического университета Праги [11], Технического университета г. Брно [12]. Перечисленные работы внесли вклад

в развитие методов расчета сталежелезобетонных конструкций, учета температурных деформаций и ползучести.

Авторы также имеют ряд статей по данной тематике [13, 14].

ЦЕЛИ

Изучить влияние продольного армирования и легковесных вставок на характеристики напряженно-деформированного состояния балочных элементов перекрытий системы «Марко» и разработать рекомендации по расчету трещиностойкости, деформаций и прочности по нормальным сечениям.

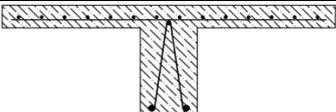
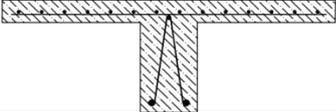
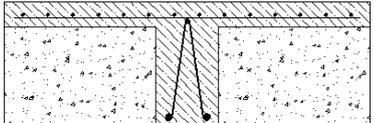
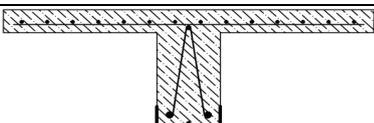
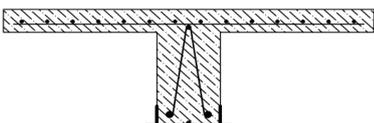
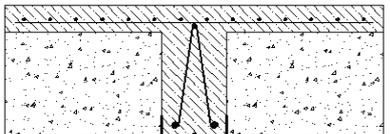
Задачи исследования:

- изучить влияние вида продольного армирования, наличия легковесных вставок на трещиностойкость и прочность балочных элементов конструкций;
- выполнить теоретические исследования характеристик напряженно-деформированного состояния составных конструкций системы «Марко», а также экспериментальные исследования при нагружении возрастающим до разрушения изгибающим моментом;
- разработать рекомендации по уточнению методик расчета СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» в части расчетов по образованию трещин, прогибов и прочности по нормальным сечениям сборно-монолитных конструкций системы «Марко».

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Произведено испытание шести образцов балочных элементов, особенности которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изготовленные образцы

Номер балки	Вид поперечного сечения	Описание
I-I		Бетонная балка таврового сечения с арматурным каркасом
I-II		Бетонная балка таврового сечения с арматурным каркасом (аналогична I-I)
II		Бетонная балка таврового сечения с арматурным каркасом с газобетонными блоками размерами 600×300×200 мм, расположенными под свесами бетонного таврового сечения (ориентированными вдоль балки)
III-I		Бетонная балка таврового сечения с арматурным каркасом с профилем МАРКО-УНИВЕРСАЛ с гладкими стенками и дном
III-II		Бетонная балка таврового сечения с арматурным каркасом с профилем МАРКО-УНИВЕРСАЛ с гладкими стенками и дном. На месте произведена доработка балки путём сверления в бетоне отверстий и установки анкеров (по 10 шт. в днище профиля с каждой стороны).
IV		Бетонная балка таврового сечения с арматурным каркасом с профилем МАРКО-УНИВЕРСАЛ с гладкими стенками и дном каркасом с газобетонными блоками размерами 600×300×200 мм, расположенными под свесами бетонного таврового сечения (ориентированными вдоль балки) На месте произведена доработка балки путём сверления в бетоне отверстий и установки анкеров (по 10 шт. в днище профиля с каждой стороны).

Типовой арматурный каркас состоит из двух основных продольных стержней нижнего пояса \varnothing 12 мм А500С и одного продольного стержня верхнего пояса \varnothing 8 мм (рисунок 1,а), объединенных поперечной диагональной арматурой Вр-I \varnothing 5 мм с помощью контактной сварки (рисунок 1,б). На балках с профилем арматурный каркас установлен на гнутый оцинкованный профиль «Универсал» размером 120×40 мм, изготовленный из оцинкованной листовой стали толщиной 1 мм (рисунок 1,в).

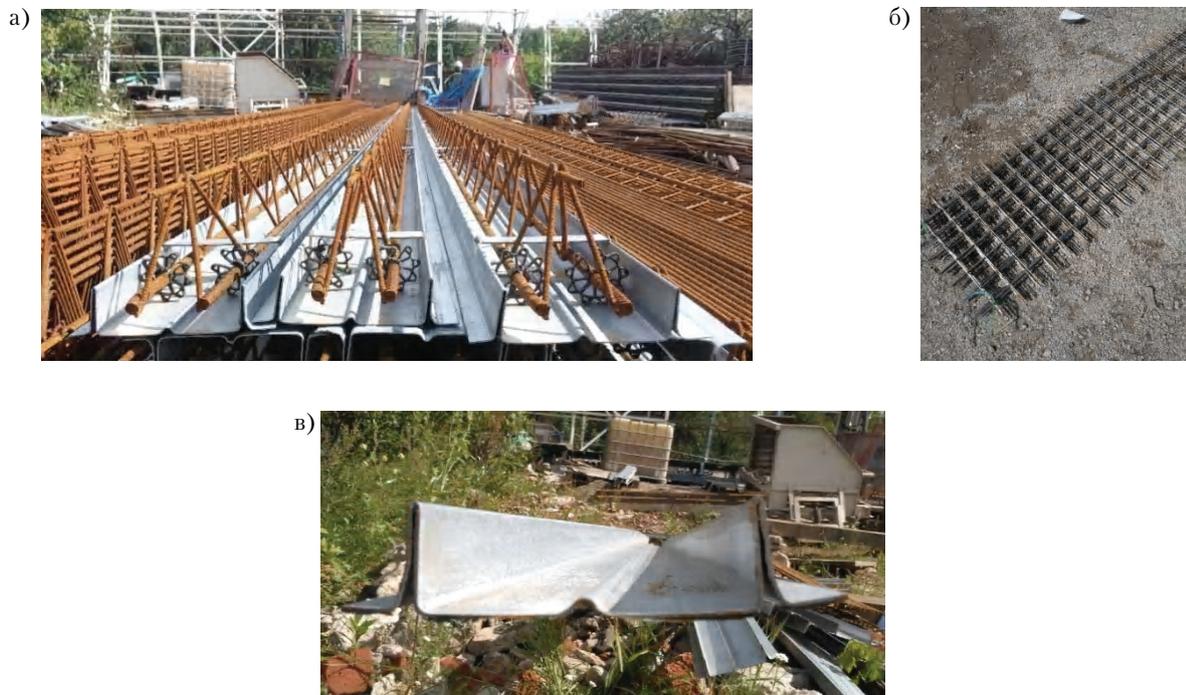


Рисунок 1 – Типовой арматурный каркас: а) треугольный арматурный каркас; б) арматурная сетка; в) стальной профиль.

Испытания балок проводились на базе научно-испытательной лаборатории «Политех-СКиМ-тест» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого кафедры «Строительная механика и строительные конструкции». Внешний вид балок и экспериментальная установка показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Подготовка к проведению испытаний.

Балки испытывались по схеме шарнирно-опираемой балки с двумя сосредоточенными силами (рисунок 3). Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 8829-94.

Нагрузку прикладывали на расстоянии $1/3$ пролета от опор по оси балки симметрично в виде 2-х равных сосредоточенных поперечных сил домкратами. Усилие F , создаваемое гидравлическими

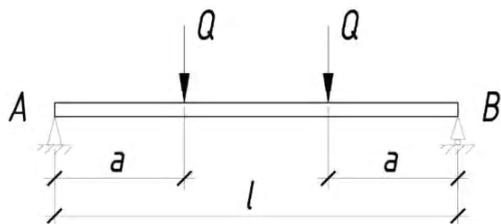


Рисунок 3 – Схема испытаний балок.

домкратами, достаточно точно контролируется по величине давления P рабочей жидкости (масла) в системе нагнетания (сила $F = P \cdot S_{\text{п}}$, где $S_{\text{п}}$ – площадь поршня). При постоянной для данного домкрата величине площади поршня соотношение силы F и давления P имеет прямую пропорциональную зависимость.

Первые нормальные трещины в бетоне образовались в сечениях под точками приложения нагрузки и имели незначительные раскрытия (до 0,05 мм). Затем в зоне чистого изгиба появлялись еще несколько трещин. Развитие

нормальных трещин в нижней зоне бетонной полки наблюдалось главным образом непосредственно перед разрушением.

За предельное состояние принималось физическое разрушение образцов, характеризовавшееся большими пластическими деформациями стального профиля (балка III-I) и разрушением ребра в зоне чистого изгиба.

Внешний вид балок перед разрушением и после разрушения показан на рисунке 4.

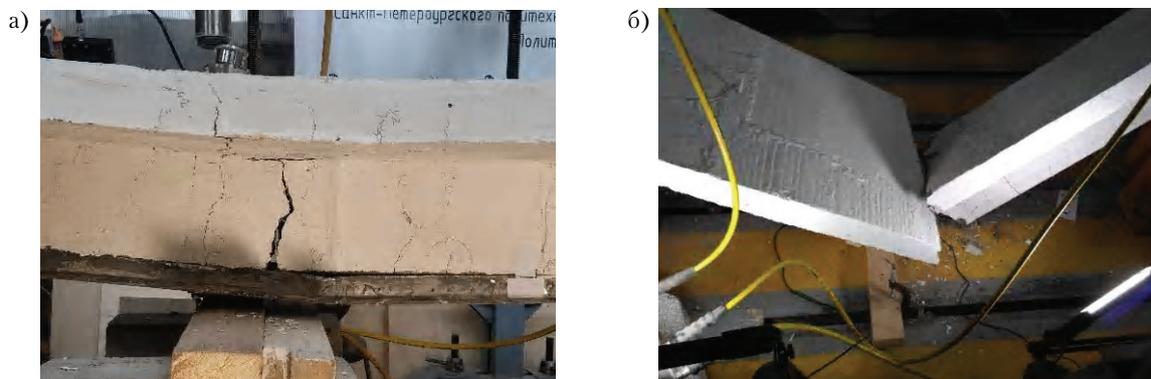
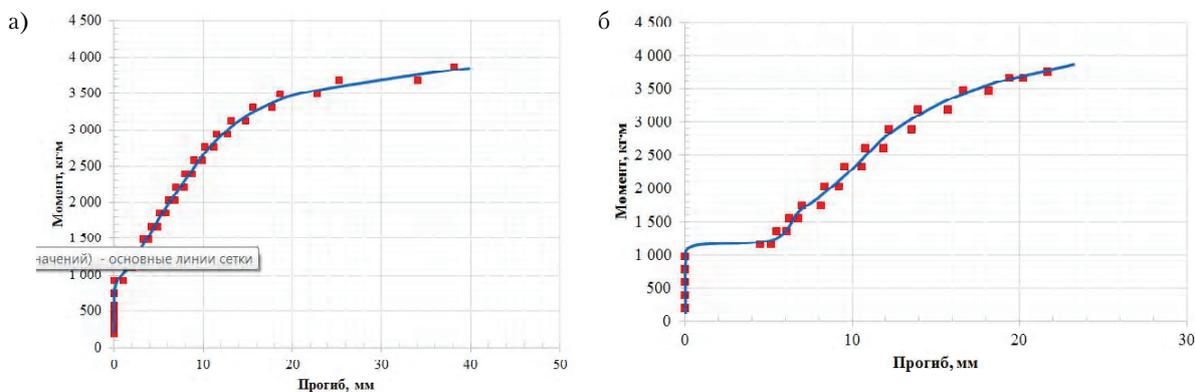


Рисунок 4 – Балка: а) перед разрушением; б) после разрушения.

В процессе проведения испытания зафиксированы прикладываемая нагрузка с помощью динамометров и прогибы в середине пролета с помощью прогибомеров.

На основании полученных данных построены графики зависимости значений прогибов образцов от изгибающего момента (рисунок 5).

На основании опытных данных выявлено, что у образцов со стальным профилем, уложенным по низу балки, несущая способность выше на 15 %, чем у образцов балок с бетонным основанием. А у образцов, стальной профиль которых заанкерен при помощи саморезов, несущая способность выше на 55 %.



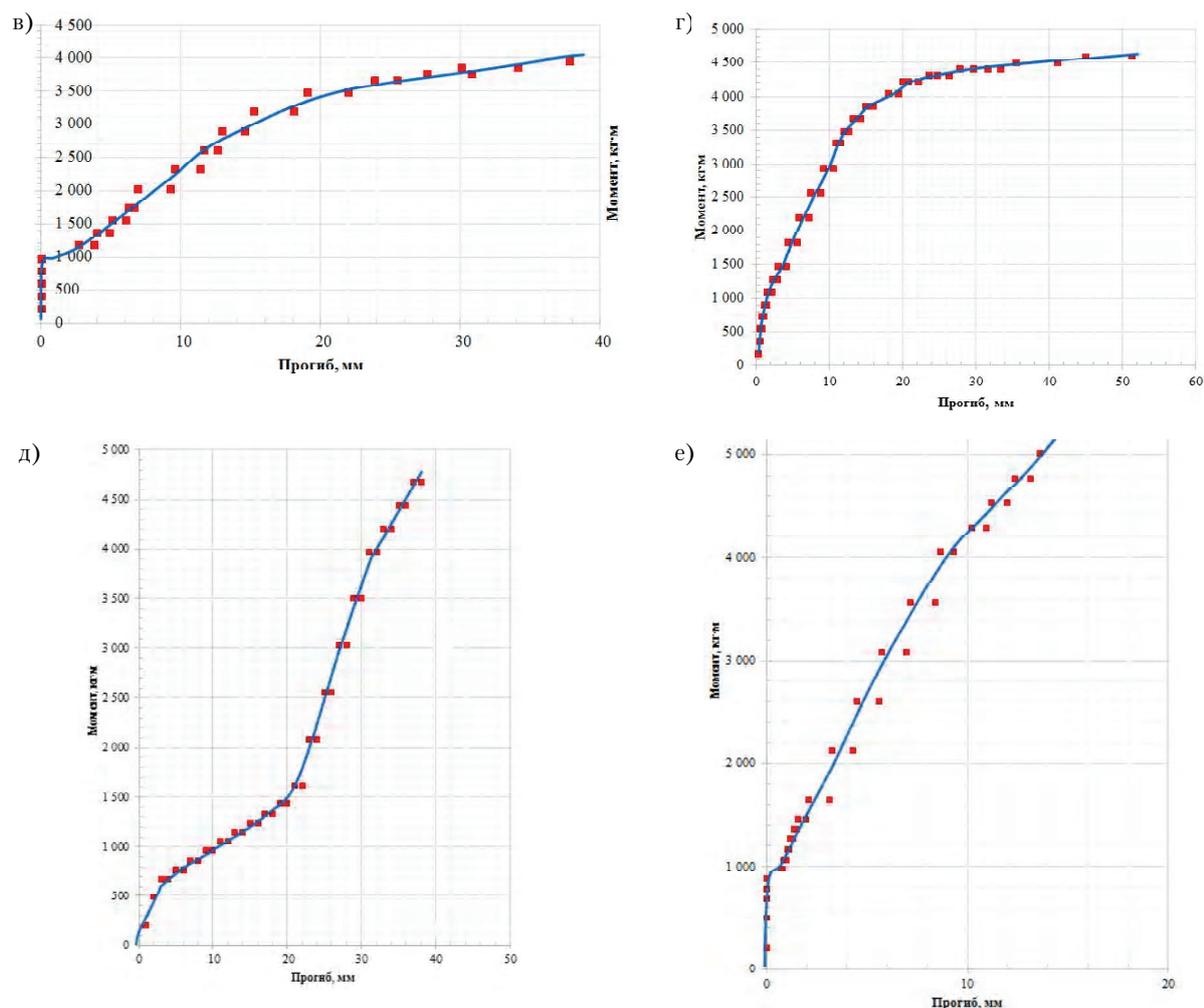


Рисунок 5 – Графики зависимости $M = f(f)$ для балок: а) I-I; б) I-II; в) II; г) III-I; д) III-II; е) IV.

В рамках теоретического исследования проведены расчеты образцов балок СМП по прочности нормальных сечений согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Данный расчет изгибаемых элементов ведется в зависимости от положения границы сжатой зоны бетона в балке.

В случае рассматриваемых образцов балок СМП высотой 250 мм и длиной 3 000 мм граница сжатой зоны находится в полке, выше слоя арматурной сетки, уложенной поверх треугольного каркаса. Следовательно, все продольные арматурные стержни в балке являются растянутыми.

Результаты расчетов изгибающих моментов, а также сопоставление их с экспериментальными значениями (в процентном соотношении) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета

Образец 1 Балка I-I	Образец 2 Балка I-II	Образец 3 Балка II	Образец 4 Балка III-I	Образец 5 Балка III-II	Образец 6 Балка IV
Расчет по СП 63.13330.2012					
M = 2,62 т·м	M = 2,62 т·м	M = 2,52 т·м	M = 4,72 т·м	M = 4,31 т·м	M = 4,36 т·м
65 %		62,5 %	117,5 %	107 %	108,5 %
Опытные величины					
M = 4,00 т·м	M = 4,04 т·м	M = 4,02 т·м	M = 4,62 т·м	M = 6,12 т·м	M = 6,33 т·м
100 %		100 %	115,7 %	155 %	160 %
x = 2,16 см	x = 2,01 см	x = 2,11 см	x = 3,14 см	x = 2,9 см	x = 3,18 см

В таблице за значение в 100 % принят изгибающий момент, полученный как среднее арифметическое от опытных значений моментов в образцах I-I и I-II.

ВЫВОДЫ

По результатам опытных данных выявлено незначительное увеличение (порядка 15 %) несущей способности балок за счет применения тонкого стального профиля по низу несущих балок СМП. Но если профиль будет включаться в работу не только за счет собственного сцепления с бетоном, но и с помощью анкеровки, то увеличение несущей способности достигает порядка 55 % по сравнению с балками без профиля.

По результатам теоретического исследования сделан вывод о необходимости введения поправочного коэффициента, учитывающего сцепление профиля с бетоном для корректного определения максимального изгибающего момента в балках СМП.

Таким образом, применение внешнего армирования является эффективным средством повышения прочности и жесткости железобетонных изгибаемых элементов.

Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования будут являться важным вкладом в процесс внедрения данных конструкций в практику проектирования и строительства, дадут почву для дальнейших исследований в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замалиев, Ф. С. Экспериментальные исследования пространственной работы сталежелезобетонных конструкций [Текст] / Ф. С. Замалиев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 12. – С. 53–60.
2. Технология легких сталебетонных конструкций из пенобетона и фиброцементных листов [Текст] / В. А. Рыбаков, Г. Л. Козинец, Н. И. Ватин, В. З. Величкин [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – № 6(82). – С. 103–111.
3. Медведев, В. Н. Прочность и деформативность балочных изгибаемых элементов с внешним листовым армированием [Текст] / В. Н. Медведев, С. Д. Семенюк // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – № 3. – С. 3–15.
4. Soty, R. Formulation for Maximum Shear Force on L-Shape Shear Connector Subjected to Strut Compressive Force at Splitting Crack Occurrence in Steel-Concrete Composite Structures [Текст] / R. Soty, H. Shima // Procedia Engineering. – 2011. – № 14. – P. 2420–2428.
5. Analysis of encased steel beams with hollow cross-sections [Текст] / V. Kvocak, V. Kozlejova, D. Dubecky // Procedia Engineering. – 2012. – № 40. – P. 223–228.
6. Михаськин, В. В. Моделирование сталежелезобетонного перекрытия с профилированным настилом и оценка расчетной схемы в сравнении с ручным расчетом [Текст] / В. В. Михаськин, М. А. Карачева // Вопросы науки и образования. – 2018. – № 7(19). – С. 56–58.
7. Харлаб, В. Д. О расчет сталежелезобетонных балок с учетом линейной и нелинейной ползучести бетона [Текст] / В. Д. Харлаб, К. В. Козлов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 3(50). – С. 109–114.
8. Напряженно-деформированное состояние фрагмента сталежелезобетонного перекрытия в условиях огневого воздействия [Текст] / В. А. Рыбаков, И. А. Ананьева, А. О. Родичева, О. Т. Огидан // Инженерно-строительный журнал. – 2017. – № 6(74). – С. 161–174.
9. Tahmasebinia, F. Three-Dimensional FE Modelling of Simply-Supported and Continuous Composite Steel-Concrete Beams [Текст] / F. Tahmasebinia, G. Ranzi // Procedia Engineering. – 2011. – № 14. – P. 434–441.
10. Chung, K. F. Advanced Finite Element Modelling of Composite Beams with High Strength Materials and Deformable Shear Connectors [Текст] / K. F. Chung, C.K. Chan // Procedia Engineering. – 2011. – № 14. – P. 1114–1122.
11. Machacek, J. Design of Shear Connection between Steel Truss and Concrete Slab [Текст] / J. Machacek, M. Charvat // Procedia Engineering. – 2013. – № 57. – P. 722–729.
12. Holomek, J. Test Arrangement of Small-scale Shear Tests of Composite Slabs [Текст] / J. Holomek, M. Bajera, M. Vilda // Procedia Engineering. – 2016. – № 161. – P. 716–721.
13. Огнестойкость сборно-монолитных часторебристых плит по балкам со стальным профилем [Текст] / М. В. Гравит, Е. С. Недвига, Н. А. Виноградова, Ж. С. Теплова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 12(51). – С. 73–83.
14. Теплова, Ж. С. Прочность сталежелезобетонных образцов при центральном сжатии [Текст] / Ж. С. Теплова, Н. А. Виноградова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 5(32). – С. 29–38.

Получено 12.03.2019

В. И. КОРСУН, Н. А. ВИНОГРАДОВА, Г. А. ШВЕЦЬ
ЕФЕКТИВНІСТЬ УРАХУВАННЯ В МІЦНІСНИХ РОЗРАХУНКАХ
СТАЛЕВОГО ПРОФІЛЮ В ЯКОСТІ ЗОВНІШНЬОЇ АРМАТУРИ В
ЕЛЕМЕНТАХ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ПЕРЕКРИТТІВ

Санкт-Петербурзький політехнічний університет Петра Великого

Анотація. Дана стаття присвячена розв'язанню актуальної у сучасному будівництві задачі зниження ваги будівельних конструкцій при збереженні несучої здатності. Вона описує проведені авторами міцнісні випробування, що показують позитивний вплив сталевих профілів на несучу здатність елементів збірно-монолітних перекриттів. Також у статті наведені теоретичні дослідження, що підтверджують результати експерименту і показують ефективність урахування в міцнісних розрахунках впливу профілю.

Ключові слова: збірно-монолітні перекриття, сталезалізобетонні балки, міцнісні випробування.

VLADIMIR KORSUN, NATALIA VINOGRADOVA, GEORGIY SHVETS
THE EFFECTIVENESS OF ACCOUNTING IN THE STRENGTH CALCULATIONS
OF STEEL PROFILES AS EXTERNAL REINFORCEMENT IN THE ELEMENTS
OF PREFABRICATED MONOLITHIC FLOORS

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Abstract. This article is devoted to solving the actual task in modern construction of reducing the weight of building structures while maintaining the carrying capacity. It describes the strength tests carried out by the authors, showing the positive effect of the steel profile on the bearing capacity of the elements of composite monolithic floors. The article also presents theoretical studies confirming the results of the experiment and showing the effectiveness of the account in the strength calculations of the influence of the profile.

Key words: precast-monolithic floors, steel concrete beams, strength tests.

Корсун Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Научные интересы: исследование закономерностей кратковременного и длительного деформирования бетона, железобетона, сталефибробетона в условиях одноосных напряженных состояний, в том числе в условиях действия повышенных температур, разработка физических соотношений для бетонов средней и высокой прочности. Участие в разработке строительных норм проектирования.

Виноградова Наталья Анатольевна – аспирант кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Научные интересы: влияние жесткой стальной профилированной арматуры на напряженно-деформированное состояние балочных железобетонных конструкций.

Швец Георгий Андреевич – аспирант кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Научные интересы: влияние воздействий повышенных температур и нагружений различной длительности на напряженно-деформированное состояние статически неопределимых конструкций балочного типа из высокопрочного бетона.

Корсун Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри будівництво унікальних будівель і споруд Санкт-Петербурзького політехнічного університету Петра Великого. Наукові інтереси: дослідження закономірностей короткочасного та тривалого деформування бетону, залізобетону, сталефібробетону в умовах одноосових напружених станів, у тому числі в умовах дії підвищених температур, розробка фізичних співвідношень для бетонів середньої і високої міцності. Участь у розробці будівельних норм проектування.

Виноградова Наталія Анатоліївна – аспірант кафедри будівництво унікальних будівель і споруд Санкт-Петербурзького політехнічного університету Петра Великого. Наукові інтереси: вплив жорсткої сталевих профільованої арматури на напружено-деформований стан балкових залізобетонних конструкцій.

Швец Георгій Андрійович – аспірант кафедри будівництва унікальних будівель і споруд Санкт-Петербурзького політехнічного університету Петра Великого. Наукові інтереси: вплив підвищених температур і навантажень різної тривалості на напружено-деформований стан статично невизначених конструкцій балкового типу з високоміцного бетону.

Korsun Vladimir – D. Sc. (Eng.), Professor, Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Scientific interests: the study of patterns of short-term and long-term deformation of concrete, reinforced concrete, steel fiber concrete under conditions of non-axial stress states, including under the action of elevated temperatures, the development of physical ratios for concrete of medium and high strength. Participation in the development of building design standards.

Vinogradova Natalia – graduate student, Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Scientific interests: the effect of rigid steel profiled reinforcement on the stress-strain state of girder reinforced concrete structures.

Shvets Georgiy – graduate student, Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Scientific interests: the influence of the effects of elevated temperatures and loads of various durations on the stress-strain state of statically indefinable beam-type structures of high-strength concrete.