

DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-26-33

**Виноградова Н.А.**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

E-mail: natasha-vinograd@mail.ru

## УЧЕТ СТАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ В РАСЧЕТАХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

**Аннотация.** Сборно-монолитные перекрытия являются оптимальным решением с точки зрения стоимости и сроков производства работ. Кроме того, за счет легких блоков заполнения, входящих в устройство сборно-монолитной конструкции, перекрытие имеет меньший вес, чем классическое монолитное или сборное. В рамках данной работы были проведены расчеты элементов сборно-монолитных перекрытий – железобетонных тавровых балок со стальным тонкостенным профилем, который используется на этапе строительно-монтажных работ в первую очередь в качестве опалубки. Тем не менее, учет в расчетах стального профиля в качестве внешнего армирования повышает несущую способность балок на 50 %. Для оценки фактического влияния стального тонкостенного профиля на прочностные характеристики элементов конструкции были проведены экспериментальные исследования. По результатам эксперимента было выявлено, что вклад стального тонкостенного профиля в несущую способность балок составляет 15 %, в то время как если уменьшить проскальзывание профиля за счет анкеровки в приопорных зонах – несущая способность увеличивается на 55% по сравнению с аналогичными балками без профиля.

**Ключевые слова:** сталежелезобетон, внешнее армирование, тонкостенный стальной профиль, несущая способность, прочность.

**Введение.** Сборно-монолитные перекрытия являются оптимальной конструкцией с точки зрения снижения веса при сохранении необходимой несущей способности, сокращения сроков производства работ, а также уменьшения стоимости строительства. Сравнительный анализ монолитного, сборно-монолитного и сборного типов перекрытий, представленный в статье [1], показал очевидную конкурентоспособность сборно-

монолитных перекрытий в сравнении с традиционными конструкциями.

Такие перекрытия состоят из железобетонных балок с объемным треугольным каркасом из арматурных стержней, блоков заполнения из различных легких бетонов, а также монолитного слоя бетона, укладываемого на строительной площадке (рис. 1) [2].

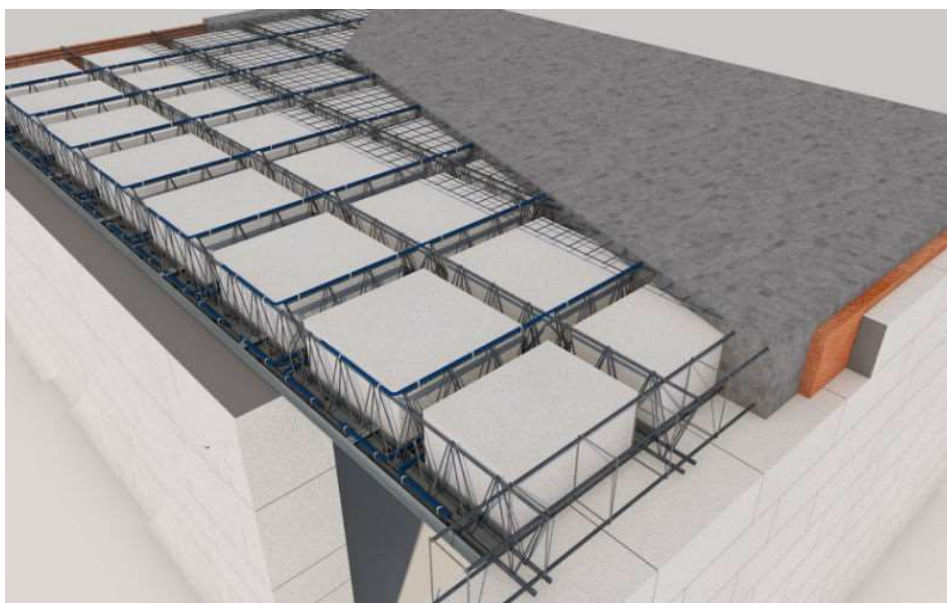


Рис. 1. Устройство сборно-монолитного перекрытия

В ходе работы были исследованы два основных типанесущих элемента сборно-монолитных перекрытий – с бетонным основанием и с ос-

нованием в виде стального тонкостенного профиля, выполняющего роль опалубки на стадии укладки монолитного бетона (рис. 2) [3].



Рис. 2. Основные типы несущих элементов для сборно-монолитных перекрытий

Обзор литературы показал, что несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических исследований сталежелезобетонных конструкций, вопрос совместной работы бетона и стального листа требует дополнительных исследований. Поиск конструктивных вариантов, оптимальных с точки зрения строительно-монтажных работ и одновременно обеспечивающих надежное сцепление бетона и стали, в настоящее время продолжает быть актуальным [4-15].

Кроме того, сдерживающим фактором широкого применения сталежелезобетонных конструкций при проектировании и строительстве в Российской Федерации являлось отсутствие до 2017 г. специализированного свода правил, в то

время как в странах Евросоюза с 1994 г. существует стандарт – Еврокод 4 «Проектирование сталежелезобетонных конструкций» [16].

**Методология.** В качестве исследуемого объекта приняты тавровые железобетонные балки с шириной ребра 120 мм, шириной полки – 740 мм, высотой 250 мм и длиной 3000 мм со стальным тонкостенным профилем или без него (рис. 3,4). Для оценки влияния тонкостенного стального профиля на несущую способность балочных элементов были проведены экспериментальные исследования трех образцов: без профиля (балка I), со стальным профилем (балка III-I) и с анкерным стальным профилем в приопорных зонах (по 10 дюбелей с каждой стороны с целью крепления стального профиля к бетону – балка III-II) (рис. 5, 6).

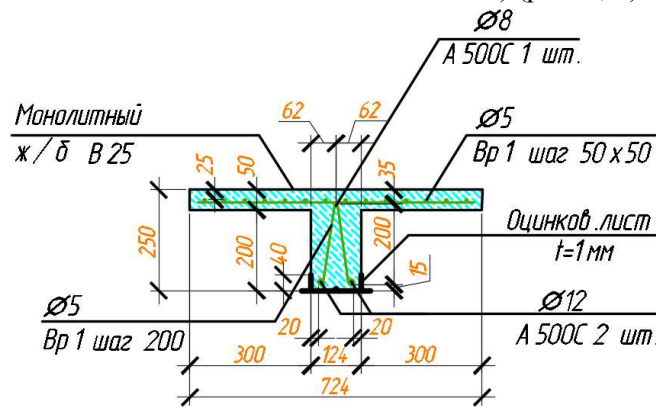


Рис. 3. Поперечное сечение балки со стальным тонкостенным профилем

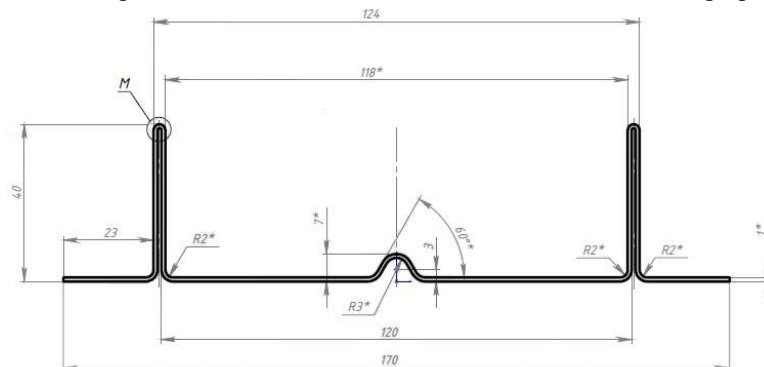


Рис. 4. Стальной тонкостенный профиль

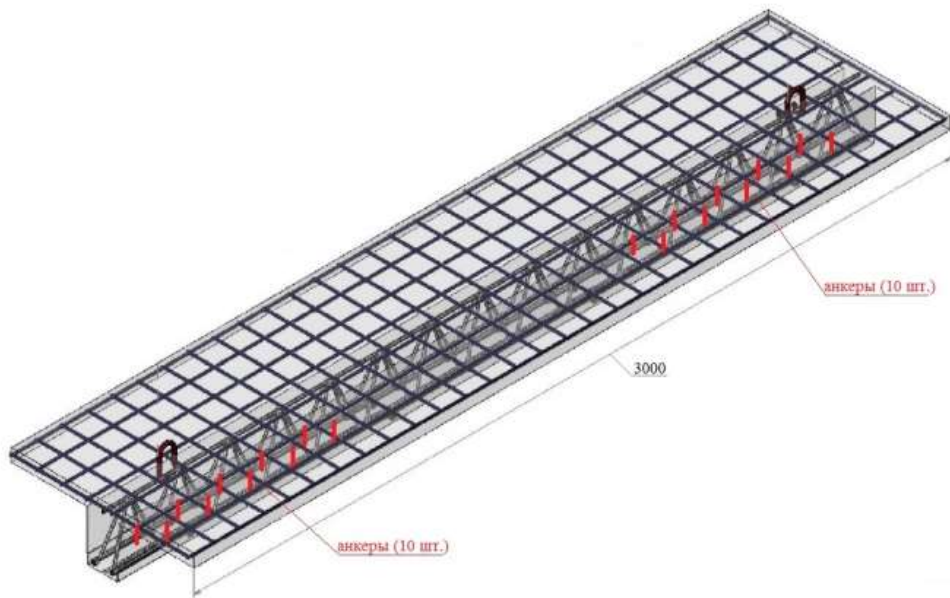


Рис. 5. Анкеровка стального профиля в приопорных зонах

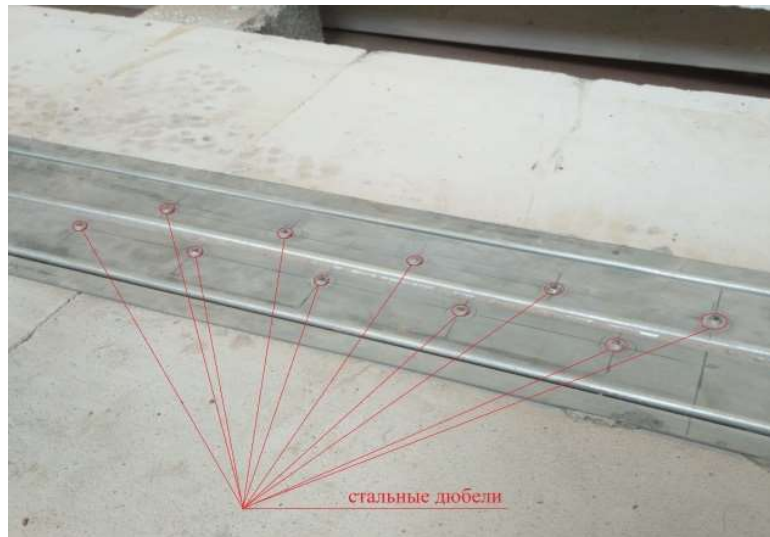


Рис. 6. Фотоиллюстрация анкерования стального профиля

Анализ СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» показал, что нормативный документ не позволяет произвести расчет тавровых железобетонных ба-

лок со стальным тонкостенным профилем и в целом имеет достаточно ограниченную область применения, а именно:

- сталежелезобетонные плиты с профилированным настилом (рис. 7);

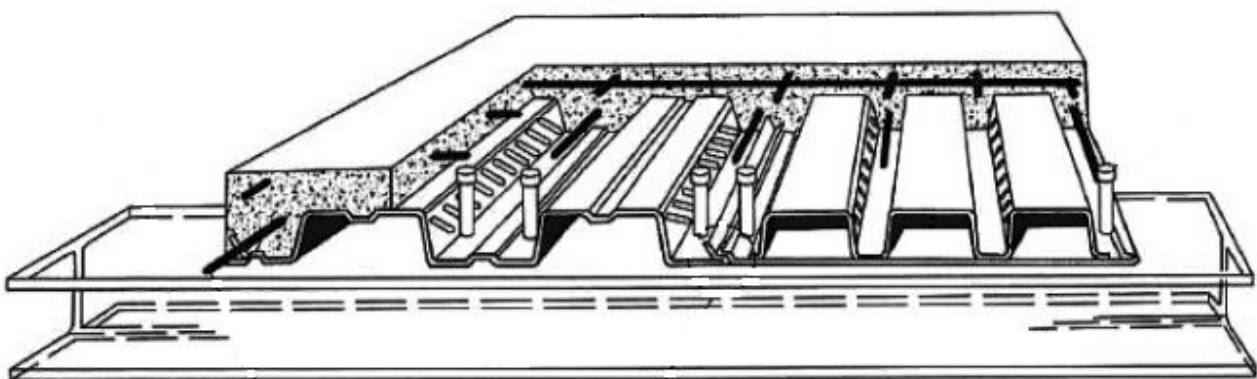


Рис. 7. Сталежелезобетонная плита с профилированным настилом



– комбинированные балки (рис. 8);



Рис. 8. Комбинированные балки

– железобетонные конструкции с жесткой арматурой, работающие на центральное или внецентренное сжатие, растяжение (рис. 9);

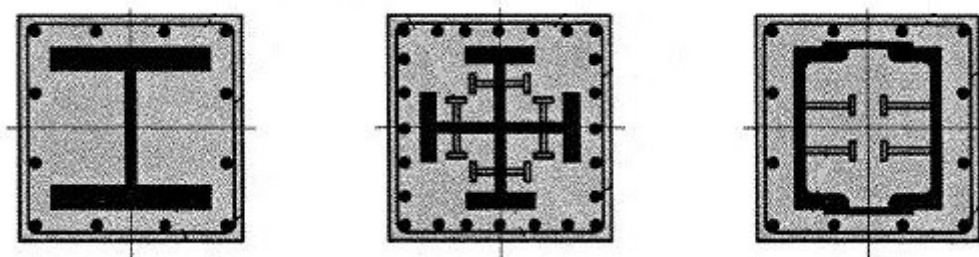


Рис. 9. Железобетонные конструкции с жесткой арматурой

– трубобетонные конструкции с внешней тонкой или железобетонным ядром (рис. 10).  
 – трубобетонные конструкции с внешней стальной оболочкой в виде круглой трубы, с бе

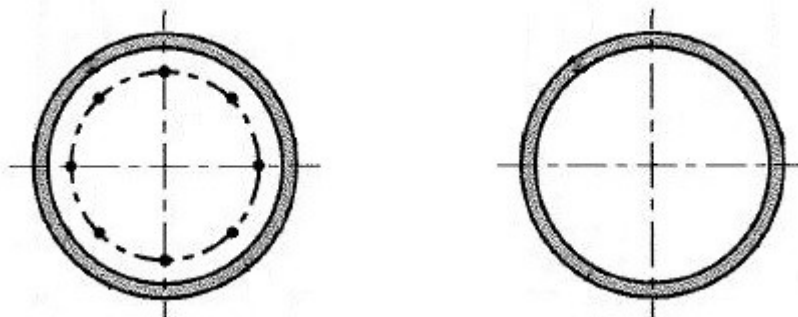


Рис. 10. Трубобетонные конструкции

Таким образом, расчет прочности и деформации тавровых железобетонных балок со стальным тонкостенным профилем производился на основании методов, продиктованных СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Экспериментальные исследования проводились по схеме шарнирно-опертой балки с двумя

равными сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета (рис. 11). Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

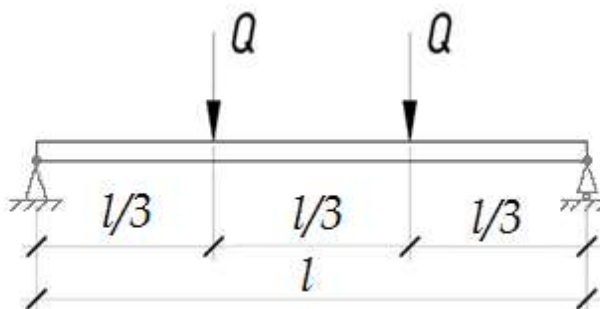


Рис. 11. Схема испытаний балок

Нагрузка прикладывалась при помощи гидравлических домкратов. Усилия  $Q$ , создаваемые домкратами, определялось с помощью электронных динамометров ДМС-30/1МГ4, а также доста-

точно точно контролировались по величине давления рабочей жидкости (масла) в системе нагнетания.

Фотоиллюстрации экспериментальных исследований представлены на рис. 12.



Рис. 12. Фотоиллюстрации экспериментальных исследований

**Основная часть.** Расчет сталежелезобетонных балок сборно-монолитных перекрытий по прочности нормальных сечений согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» производится из уравнений равновесия изгибающих моментов

и проекций продольных сил на продольную ось элемента, действующих в нормальном сечении от внешних нагрузок и от усилий в сжатой зоне бетона и в арматуре растянутой зоны (рис. 13):

$$\sum M = 0; \sum N = 0. \quad (1)$$

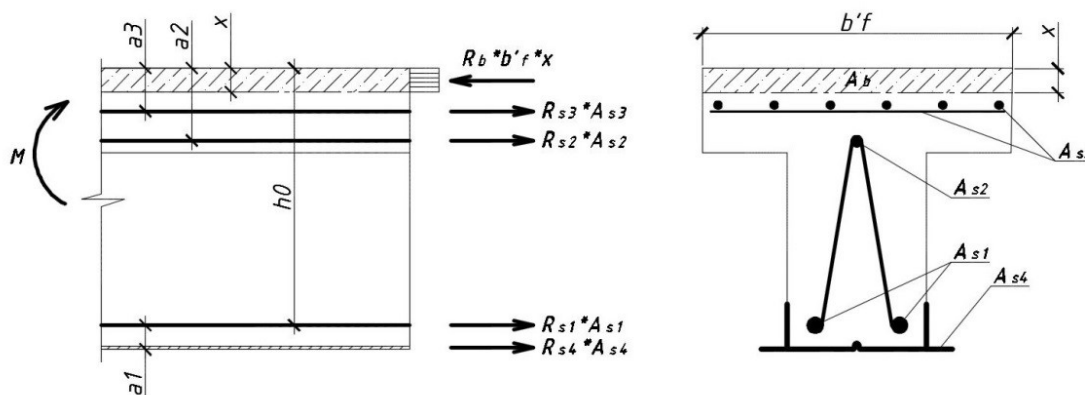


Рис. 13. Расчетная схема усилий в нормальном сечении изгибаемого железобетонного элемента при его расчете по прочности

Уравнение равновесия изгибающих моментов рассматривается относительно оси, проходящей через центр тяжести арматуры  $A_{s1}$ , таким образом:

$$\sum M = 0 \Rightarrow M = R_b \cdot b'f \cdot x \cdot \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) - \sigma_{s2} \cdot A_{s2} \cdot (h_0 - a_2) - \sigma_{s3} \cdot A_{s3} \cdot (h_0 - a_3) - [\sigma_{s4} \cdot A_{s4} \cdot (h_0 - a_4)]; \quad (1)$$

$$\sum N = 0 \Rightarrow x = \frac{\sum R_{si} \cdot A_{si}}{R_b \cdot b'f}; \quad (2)$$

где  $R_{si}$  – расчетное сопротивление арматуры  $A_{si}$  растяжению, МПа;  $\sigma_{si}$  – сопротивление арматуры  $A_{si}$  растяжению, МПа;  $A_{si}$  – площадь арматуры

$A_{si}$ , см<sup>2</sup>;  $x$  – высота сжатой зоны бетона, см;  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа.

**Примечания:**

1. Расчет проводится до достижения напряжениями  $\sigma_{s1}$  и/или  $\sigma_{s4}$  задаваемого критерия прочности (традиционно  $R_s$ ).

2. Представленная модель является основой для уточнения (проверки) разрабатываемой деформационной модели для неоднородного сталежелезобетонного элемента с внешним листовым армированием.

Прочностные характеристики примененных материалов определялись в соответствии с требованиями нормативных документов: бетон В25, арматура – класса А500, арматурная сетка – Вр1, характеристики тонкостенного стального профиля  $R_s$  принимались по данным от завода-изготовителя.

После проведенных экспериментов были повторно произведены расчеты тавровых железобетонных балок со стальным тонкостенным профилем, где характеристики механических свойств бетона были приняты фактическими, с учетом испытаний образцов-кубиков до разрушения по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» и по ГОСТ 24452-80 «Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

Сопоставление результатов расчетов с экспериментальными значениями представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Опытные и расчетные значения несущей способности балок**

Балка I (без профиля)	Балка III-I (с профилем)	Балка III-II (с профилем и анкерровкой)
Расчетные значения		
2620 — 62,5%	4720 — 117,5 %	4540 — 113 %
Опытные значения		
4020 — 100 %	4620 — 115,7 %	6120 — 155 %

**Примечания:**

1. Над чертой – значения изгибающих моментов  $M$  в кг\*м, под чертой – значения в относительных величинах (в %);

2. За 100 % принят экспериментальный разрушающий изгибающий момент балки I (без профиля).

**Выводы.** Сопоставление расчетов по методике СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» с результатами эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1. У образца со стальным профилем (балка III-I) несущая способность на 15 % выше, чем у образца без профиля (балка I);

2. У образцов, в которых стальной профиль заанкерен в бетон при помощи стальных дюбелей в приопорных зонах (балки III-II), несущая способность на 55 % выше, чем у образца без профиля (балка I);

3. Расчетные значения несущей способности балок, в среднем, на 35–40 %, ниже соответствующих опытных величин, что связано, главным образом, с осторожной оценкой нормами расчетных характеристик бетона и арматуры соответствующих классов.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Недвига Е.С., Виноградова Н.А. Системы сборно-монолитных перекрытий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №4(43). С. 87–107.

2. Ватин Н.И., Величкин В.З., Козинец Г.Л., Корсун В.И., Рыбаков В.А., Жувак О.В. Технология сборно-монолитных балочных железобетонных перекрытий с керамзитобетонными блоками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №7(70). С. 43–59.

3. Derysz J., Lewinski P.M., Wiech P.P. New concept of steel-reinforced concrete floor slab in the light of computation model and experimental research // Procedia Engineering. 2017. Vol. 193. Pp. 168–175.

4. Балуев В.Ю. Автоматизированное оптимальное проектирование сталежелезобетонных перекрытий : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2004. 149 с.

5. Замалиев Ф.С. Экспериментальные исследования пространственной работы сталежелезобетонных конструкций // Вестник МГСУ. 2009. №8. С. 20–37.

6. Rybakov V.A., Kozinets G.L., Vatin N.I., Velichkin V.Z., Korsun V.I. Lightweight steel concrete structures technology with foam fiber-cement sheets // Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 6(82). Pp. 103–111.

7. Медведев В.Н., Семенюк С.Д. Прочность и деформативность балочных изгибаемых элементов с внешним листовым армированием // Инженерно-строительный журнал. 2016. №3(63). С. 3–15.

8. Soty R., Shima H. Formulation for Maximum Shear Force on L-Shape Shear Connector Subjected to Strut Compressive Force at Splitting Crack Occurrence in Steel-Concrete Composite Structures // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 2420–2428.

9. Kvocak V., Kozlejova V., Dubecky D. Analysis of encased steel beams with hollow cross-sections // Procedia Engineering. 2012. Vol. 40. Pp. 223–228.

10. Козлов К.В. Изгиб неразрезной сталежелезобетонной балки с учетом нелинейной ползучести бетона // Вестник гражданских инженеров. 2011. №4(29). С. 59–64.

11. Holomek J., Bajera M., Vilda M. Test Arrangement of Small-scale Shear Tests of Composite Slabs // Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 716–721.

*Информация об авторах*

**Виноградова Наталья Анатольевна**, аспирант кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений». E-mail: natasha-vinograd@mail.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

*Поступила в августе 2019 г.*

©Виноградова Н.А., 2019

### **Vinogradova N.A.**

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
Russia, 195251, St. Petersburg, Politechnicheskaya, 29  
E-mail: natasha-vinograd@mail.ru*

## **ACCOUNTING THE STEEL PROFILE IN THE CALCULATIONS OF THE LOADING CAPABILITY OF STEEL-CONCRETE BEAMS**

**Abstract.** Prefabricated monolithic floors are the best solution in terms of cost and time of work. In addition, due to the lightweight filling blocks included in the prefabricated monolithic structure, the overlap has less weight than the classic monolithic or precast slabs. Within the framework of this article, elements of prefabricated monolithic floors – reinforced concrete T-beams with a steel thin-walled profile, which is used primarily as formwork at the stage of construction and installation works, are calculated. Nevertheless, the calculation of the steel profile as an external reinforcement increases the load-bearing capacity of the beams by 50 %. To assess the fact effect of the steel thin-walled profile on the strength characteristics of structural elements, experimental studies are conducted. According to the results of the experiment, it is found that the contribution of the steel thin-walled profile to the bearing capacity of the beams is 15 %, while if the profile slip due to anchoring in the supporting zones is reduced, the bearing capacity increases by 50–60 % compared to similar beams without a profile.

**Keywords:** composite structures, external reinforcement, thin-walled steel profile, bearing capacity, strength.

### **REFERENCES**

1. Nedviga E.S., Vinogradova N.A. Systems of prefabricated monolithic slabs [Sistemy sbornomonolitnyh perekrytij]. Construction of Unique

12. Nadasky P. Steel-Concrete Composite Beams for Slim Floors – Specific Design Features in Scope of Steel Flames Design // Procedia Engineering. 2012. Vol. 40. Pp. 274–279.

13. Ahmed I.M., Tsavdaridis K.D. The evolution of composite flooring systems: applications, testing, modelling and eurocode design approaches // Journal of Constructional Steel Research. 2019. Vol. 155. Pp. 286–300.

14. Грешкина Е.В., Починок В.П. Задачи исследования влияния внешнего армирования на прочность стенки железобетонных балок // Научные труды КубГТУ. 2018. №1. С. 55–70.

15. Кибирева Ю.А., Астафьева Н.С. Применение конструкций из сталежелезобетона // Экология и строительство. 2018. №2. С. 27–34.

16. Rybakov V.A., Ananyeva I.A., Rodicheva A.O., Ogidan O.T. Stress-strain state of composite reinforced concrete slab elements under fire activity // Magazine of Civil Engineering. 2017. Vol. 6(74). Pp. 161–174.

Buildings and Structures. 2015. No. 4(43). Pp. 87–107. (rus)

2. Vatin N.I., Velichkin V.Z., Kozinets G.L., Korsun V.I., Rybakov V.A., Zhuvak O.V. Precast-

monolithic reinforced concrete beam-slabs technology with claydit blocks [Tekhnologiya sborno-monolitnyh balochnyh zhelezobetonnyh perekrytij s keramzitobetonnyimi blokami]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. No. 7(70). Pp. 43–59. (rus)

3. Derysz J., Lewinski P.M., Wiech P.P. New concept of steel-reinforced concrete floor slab in the light of computation model and experimental research. Procedia Engineering. 2017. Vol. 193. Pp. 168–175.

4. Baluev V.Yu. Automated optimal design of steel-reinforced concrete floors [Avtomatizirovanoe optimal'noe proektirovanie stalezhelezobetonnyh perekrytij]: dis. ... kand. tekhn. nauk. Yekaterinburg: USTU, 2004. 149 p. (rus)

5. Zamaliev F.S. Experimental research of the three-dimensional performance of composite steel and concrete structures [Eksperimental'nye issledovaniya prostranstvennoj raboty stalezhelezobetonnyh konstrukcij]. Vestnik MGSU. 2009. No. 8. Pp. 20–37. (rus)

6. Rybakov V.A., Kozinets G.L., Vatin N.I., Velichkin V.Z., Korsun V.I. Lightweight steel concrete structures technology with foam fiber-cement sheets. Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 6(82). Pp. 103–111.

7. Medvedev V.N., Semenyuk S.D. Durability and deformability of braced bending elements with external sheet reinforcement [Prochnost' ideformativnost' balochnyhizgibaemyhelementov s vneshnimlistovymarmirovaniem]. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 3(63). Pp. 3–15. (rus)

8. Soty R., Shima H. Formulation for Maximum Shear Force on L-Shape Shear Connector Subjected to Strut Compressive Force at Splitting Crack Occurrence in Steel-Concrete Composite Structures. Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 2420–2428.

9. Kvocak V., Kozlejova V., Dubecky D. Analysis of encased steel beams with hollow cross-sections. Procedia Engineering. 2012. Vol. 40. Pp. 223–228.

10. Kozlov K.V. The bending of continuous composite steelreinforced concrete beam with non-linear concrete creep [Izgib nerazreznoj stalezhelezobetonnoj balki s uchetom nelinejnoj polzuchesti betona]. Bulletin of Civil Engineers. 2011. No. 4 (29). Pp. 59–64. (rus)

11. Holomek J., Bajera M., Vilda M. Test Arrangement of Small-scale Shear Tests of Composite Slabs. Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 716–721.

12. Nadasky P. Steel-Concrete Composite Beams for Slim Floors – Specific Design Features in Scope of Steel Flames Design. Procedia Engineering. 2012. Vol. 40. Pp. 274–279.

13. Ahmed I.M., Tsavdaridis K.D. The evolution of composite flooring systems: applications, testing, modelling and eurocode design approaches. Journal of Constructional Steel Research. 2019. Vol. 155. Pp. 286–300.

14. Greshkina E.V., Pochinok V.P. Objectives of the study the influence of external reinforcement on the strength of the wall of reinforced concrete beams [Zadachi issledovaniya vliyaniya vneshnego armirovaniya na prochnost' stenki zhelezobetonnyh balok]. Scientific works of the Kuban State Technological University. 2018. No. 1. Pp. 55–70. (rus)

15. Kibireva Yu.A., Astafieva N.S. The use of steel-concrete structures [Primenenie konstrukcij iz stalezhelezobetona]. EkologiyaiStroitelstvo. 2018. No. 2. Pp. 27–34. (rus)

16. Rybakov V.A., Ananyeva I.A., Rodicheva A.O., Ogidan O.T. Stress-strain state of composite reinforced concrete slab elements under fire activity. Magazine of Civil Engineering. 2017. Vol. 6(74). Pp. 161–174.

#### *Information about the authors*

**Vinogradova, Natalya A.** Postgraduate student. E-mail: natasha-vinograd@mail.ru. Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint-Petersburg, st. Polytechnicheskaya, 29.

*Received in August 2019*

#### **Для цитирования:**

Виноградова Н.А. Учет стального профиля в расчетах несущей способности сталежелезобетонных балок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 12. С. 26–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-26-33

#### **For citation:**

Vinogradova N.A. Accounting the steel profile in the calculations of the loading capability of steel-concrete beams. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 12. Pp. 26–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-26-33