



(20)-0412-1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА

А. Н. Миронов¹, Д. В. Белый², В. М. Анищенко³*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹ andreyexp@mail.ru, ² nyxassassin@ukr.net, ³ vove.ne@mail.ru**Получена 02 сентября 2020; принята 25 сентября 2020.*

Аннотация. В работе приведен анализ действительной работы напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонной плиты с использованием несъемной опалубки из профилированного листа с размерами в плане 2,0×0,5 м. Были проведены экспериментальные исследования, конечной целью которых являлось определение минимального значения распределенной по площади плиты нагрузки, при которой возникают первые трещины в растянутой ее зоне. Определен изгибающий момент трещинообразования в исследуемой сталежелезобетонной плите. Определена эксплуатационная пригодность сталежелезобетонной конструкции по двум группам предельных состояний. Выполнен сопоставительный анализ полученных результатов с расчетными данными в ПК «ЛИРА САПР 2016». Выявлена реальная нагрузка, при которой возникает трещинообразование в исследуемой конструкции. Сделаны исчерпывающие выводы по несущим и деформационным возможностям исследуемой конструкции без установки дополнительного армирования.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, плита, профилированный настил (профнастил), бетонная смесь, нагрузка, сдвигающие усилия, прогиб, момент трещинообразования.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЙСНОЇ РОБОТИ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ

А. М. Миронов¹, Д. В. Бєлий², В. М. Аніщенко³*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹ andreyexp@mail.ru, ² nyxassassin@ukr.net, ³ vove.ne@mail.ru**Отримана 02 вересня 2020; прийнята 25 вересня 2020.*

Анотація. У роботі наведено аналіз дійсної роботи напружено-деформованого стану сталезалізобетонної плити з використанням незнімної опалубки з профільованого листа з розмірами в плані 2,0×0,5 м. Були проведені експериментальні дослідження, кінцевою метою яких було визначення мінімального значення розподіленого по площі плити навантаження, при якому виникають перші тріщини в розтягнутій її зоні. Визначено момент тріщиноутворення в досліджуваній сталезалізобетонній плиті. Визначено експлуатаційну придатність сталезалізобетонної конструкції за двома групами граничних станів. Виконано порівняльний аналіз отриманих результатів з розрахунковими даними в ПК «ЛІРА САПР 2016». Виявлено реальне навантаження, при якому виникає утворення тріщин в досліджуваній конструкції. Зроблені висновки щодо несучих і деформаційних можливостей досліджуваної конструкції без встановлення додаткового армування.

Ключові слова: експериментальні дослідження, плита, профільований настил (профнастил), бетонна суміш, навантаження, зсувні зусилля, прогин, момент тріщиноутворення.

INVESTIGATION OF THE ACTUAL OPERATION OF STEEL-REINFORCED CONCRETE SLAB STRUCTURES USING PROFILED FLOORING

Andrey Mironov¹, Dmitro Belyy², Vladimir Anishchenkov³

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: ¹ andreyexp@mail.ru, ² nyxassassin@ukr.net, ³ vove.ne@mail.ru

Received 02 September 2020; accepted 25 September 2020.

Abstract. The paper provides an analysis of the actual work of the stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab using a fixed formwork from a profiled sheet with dimensions in plan 2,0×0,5 m. Experimental studies were carried out, the ultimate goal of which was to determine the minimum value of the load distributed over the area of the slab, at which the first cracks appear in its extended zone. The bending moment of cracking in the investigated steel-reinforced concrete slab was determined. The serviceability of the steel-reinforced concrete structure has been determined for two groups of limiting states. A comparative analysis of the results obtained with the calculated data in the software package «LIRA SAPR 2016» is carried out. The real load at which cracking occurs in the investigated structure is revealed. Exhaustive conclusions are made on the bearing and deformation capabilities of the structure under study without installing additional reinforcement.

Keywords: experimental studies, slab, profiled flooring (corrugated board), concrete mix, load, shear forces, deflection, crack formation moment.

Введение

Исследование действительной работы материала, проведение испытаний конструкций и экспериментальных исследований является неотъемлемой частью истории каждой типовой или используемой в практике строительной конструкции.

В современных строительных реалиях проведение данных мероприятий достаточно непростое занятие. Зачастую большинство конструкций проектируется с значительным запасом, который отвечает требованиям современных норм проектирования.

Так как в современном строительстве преобладает использование железобетонных и металлических конструкций в качестве и несущих и ограждающих элементов, возникает ряд проблем по их оптимизации [1], а также потребность в исследовании поведения конструкции под реаль-

ной нагрузкой для уточнения параметров поперечного сечения, процента армирования и пр.

Сталежелезобетонные плитные конструкции с использованием профилированного настила в качестве несъемной опалубки и арматуры нижней растянутой зоны – могут значительно уменьшить расход необходимой по расчету гибкой стержневой арматуры. Профилированный настил, который используется в перекрытии, по европейским нормам проектирования должен иметь рифление для возможности сцепления с бетоном и предотвращения проскальзывания, а также расчетные гибкие анкеры по всей длине профнастила [2].

На сегодняшний день работ по испытанию данных видов конструкций, без учета рифления и анкеровки, не так много [6, 11]. Поэтому проверка действительной работы плиты под нагрузкой без установки дополнительного упрочнения

и анкеровки имеет высокую экономическую и научную актуальность.

Описание объекта исследований

Объектом исследования является сталежелезобетонная плита, выполненная по балочной разрезной схеме с применением профилированного листа в качестве несъемной опалубки (рис. 1) [3].

Цель эксперимента

Определение изгибающего момента, при котором произойдет трещинообразование в растянутой зоне сталежелезобетонной плиты и возникнет необходимость в применении дополнительной гибкой стержневой продольной арматуры, установке анкеров и рифлении профлиста.

Для анализа действительной работы был выбран профилированный настил Н75-750-0,8 (рис. 2, 3) пролетом 2 м, шириной 0,57 м, применен бетон класса В20 с толщиной над профлистом 40 мм.

Подготовка и проведение эксперимента

В середине пролета плиты устанавливались 2 прогибомера ПАО-6 (рис. 4) с ценой деления $s = 0,01$ мм и характеристиками по [5].

На профлисте в нижней растянутой зоне и на бетоне в верхней сжатой были установлены тензометрические датчики с $d = 20$ мм, заранее тарированные на специальной балке и приклеены на цианопане вдоль плиты, чтобы была возможность определить относительные деформации растяжения-сжатия от действия приложенной нагрузки.

Загружение плиты включало последовательные 23 ступени нагрузки – до 35 % (1 100 кг) от разрушающей (3 349 кг).

Экспериментальные исследования производились после набора прочности бетоном (по истечении 28 суток с момента бетонирования) (рис. 5).

После каждой ступени загрузки конструкция оставалась в покое на 10...15 мин, в течение которых снимались показания по измерительной тензометрической системе СИИТ-3 [7], и прогибомерам ПАО-6. Полученные данные заносились в журнал испытаний.

Перед началом испытаний были сняты контрольные значения по СИИТ-3 и ПАО-6 (табл. 1).

После 23-го нагружения, при уложенных на плиту нагрузочных устройств в виде кирпичей, чугунных грузов и шлакоблоков общим весом в 1 101,6 кг, конструкция под нагрузкой имела вид, представленный на рис. 6.

Окончательные отсчеты по СИИТ-3 и ПАО-6 в процессе 23-й ступени загрузки приведены в таблице 2.

Обработка экспериментальных данных

В процессе проведения эксперимента, а также после него – внешних трещин и повреждений в сжатой зоне и на видимой поверхности бетона обнаружено не было. Наибольший прогиб в плите по ПАО-6 составил 3,34 мм, при допустимом прогибе по второй группе предельных состояний для плитных конструкций в $L/200 = 2\ 000/200 = 10$ мм (рис. 7).

Наибольшие нормальные напряжения в профнастиле от монтажной стадии (вес профнастила и свежееуложенной бетонной смеси) и

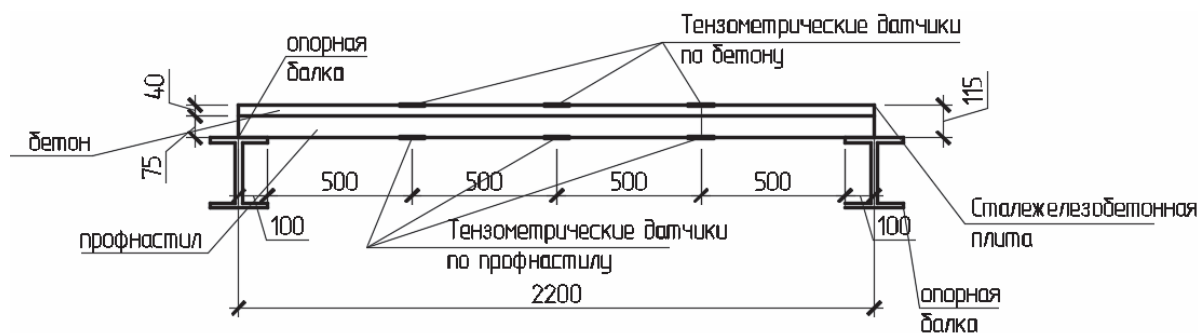


Рисунок 1. Схема сталежелезобетонной плиты по профилированному настилу в процессе испытаний.

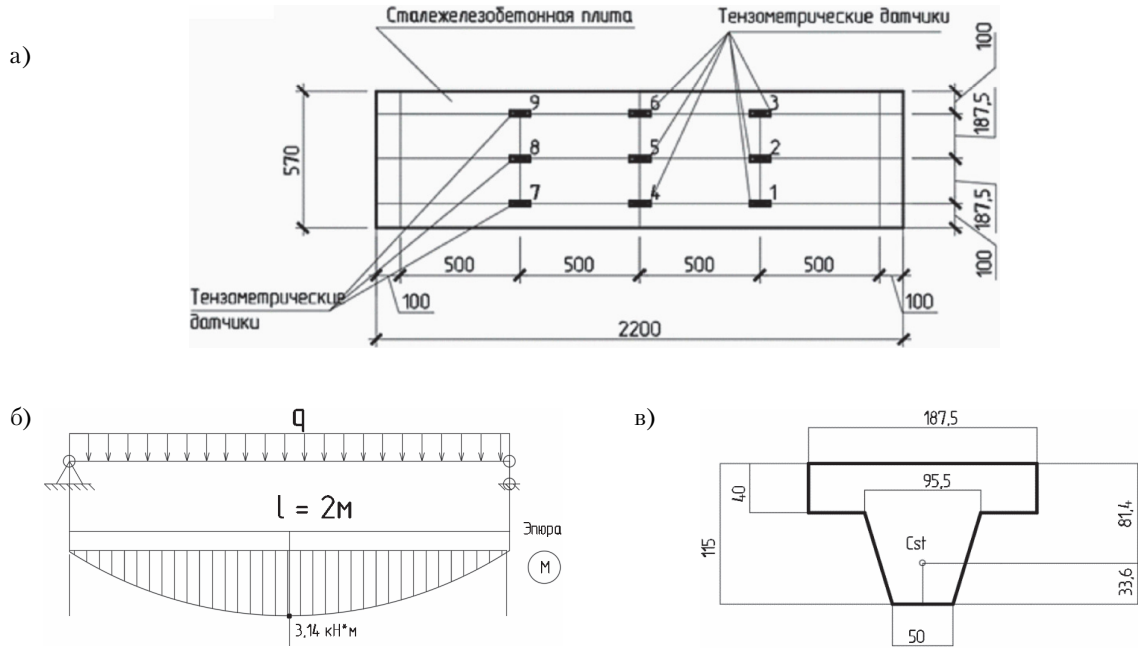
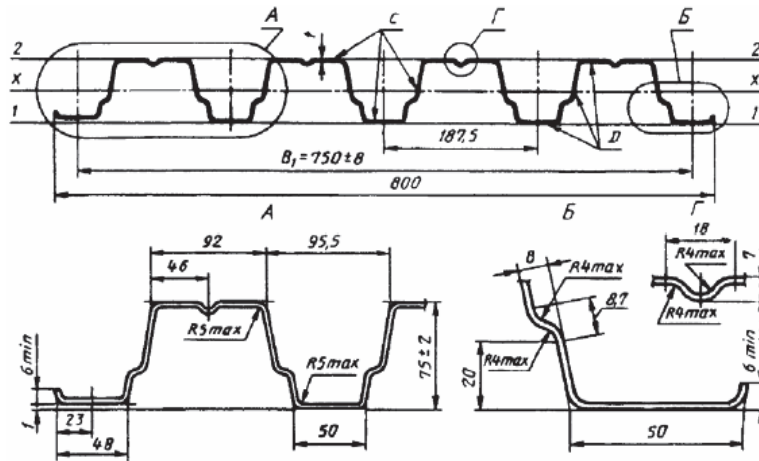


Рисунок 2. Испытание сталежелезобетонной плиты: а) схема расположения тензометрических датчиков; б) эпюра изгибающих моментов в плите; в) расчетное поперечное сечение сталежелезобетонной плиты (все размеры приведены в мм).



Профилированный лист типа Н высотой 75 мм

Обозначение профилированного листа	l, мм	Площадь сечения A, см ²	Масса 1 м длины, кг	Справочные величины на 1 м ширины						Масса 1 м ² , кг	Ширина заготовки, мм
				при сжатых узких полках			при сжатых широких полках				
				момент инерции I _x , см ⁴	момент сопротивления, см ³		момент инерции I _x , см ⁴	момент сопротивления, см ³			
					W _{x1}	W _{x2}		W _{x1}	W _{x2}		
H75-750-0,7	0,7	8,8	7,4	104,5	22,5	29,1	104,5	25,6	28,1	9,8	1 250
H75-750-0,8	0,8	10,0	8,4	114,9	25,8	32,2	114,9	28,5	33,1	11,2	
H75-750-0,9	0,9	11,3	9,3	129,6	30,2	37,6	129,6	31,6	38,0	12,5	

Рисунок 3. Геометрические характеристики [4].



Рисунок 4. Схема установки и вид прогибомеров ПАО-6.



Рисунок 5. Рабочая зона перед проведением испытаний.

Таблица 1. Результаты тензометрии

Номер испытания	Время	Масса	№ датчика	Отсчет по СИИТ-3		Значение ПАО-6	
нулевое	19.06.2020	0	0	-380		9 192	5 385
¼ пролета, профлист			1	-1 345			
			2	-520			
			3	-286			
½ пролета, профлист			4	-658			
			5	-419			
			6	-634			
¼ пролета, профлист			7	-841			
			8	-945			
			10	-341			
¼ пролета, бетон			11	-368			
			12	42			
			13	-1 439			
½ пролета, бетон			14	-1 258			
			15	-340			
			16	-142			
¼ пролета, бетон			17	-620			
			18	1			



Рисунок 6. Вид плитной конструкции под нагрузкой при 23-й ступени загрузки.

Таблица 2. Результаты тензометрии

Номер испытания	Время	Масса	№ датчика	Отсчет по СИИТ-3		Значение ПАО-6	
23 загрузка	19.06.2020	1 101,6	0	-232		8 893	5 754
¼ пролета, профлист			1	-1 172			
			2	-397			
			3	11			
½ пролета, профлист			4	-366			
			5	-110			
			6	-456			
¼ пролета, профлист			7	-662			
			8	-772			
			10	-420			
¼ пролета, бетон			11	-471			
			12	-25			
			13	-1 678			
½ пролета, бетон			14	-1 350			
			15	-545			
			16	-225			
¼ пролета, бетон			17	-697			
			18	-54			



Рисунок 7. Значения прогибов по ПАО-6.

полезной нагрузки, соответствующей 23 ступени загрузки (1 104 кг), составили:

1) в середине пролета (рис. 8) от монтажной стации – 50,8 МПа, от полезной нагрузки – 104,8 МПа;

2) в четверти пролета (рис. 9) от монтажной стации – 33,3 МПа, от полезной нагрузки – 51,8 МПа;

3) в четверти пролета (рис. 10) от монтажной стации – 33,6 МПа, от полезной нагрузки – 61,8 МПа.

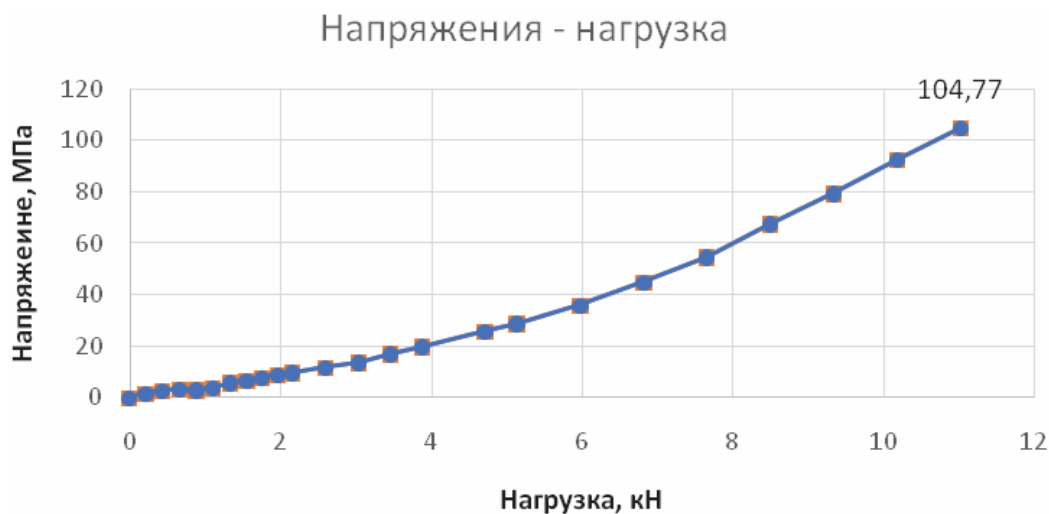


Рисунок 8. Зависимость нормальных напряжений на нижней поверхности профнастила в середине пролета от нагрузки на плиту (датчики № 4, 5, 6).

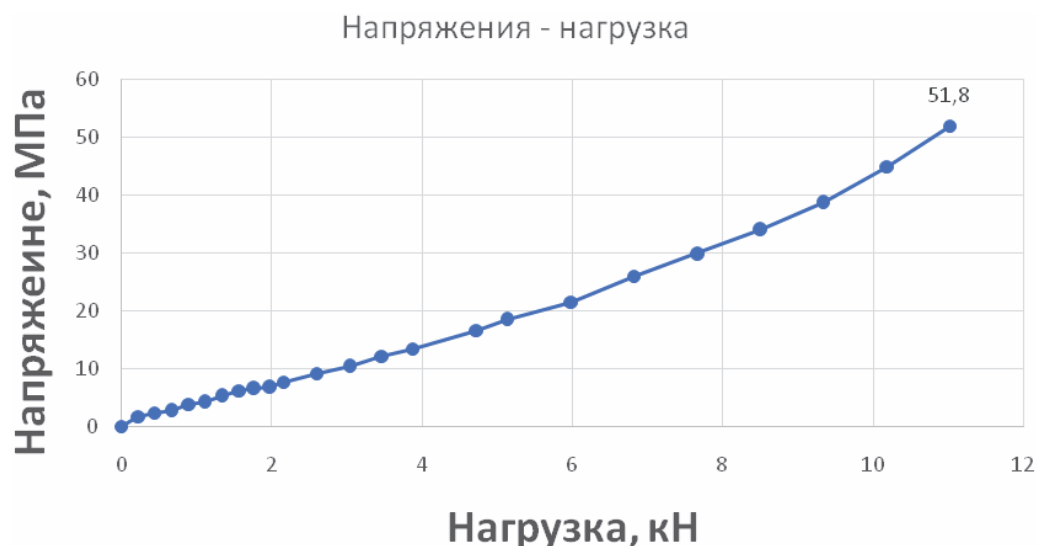


Рисунок 9. Зависимость нормальных напряжений на нижней поверхности профнастила в четверти пролета от нагрузки на плиту (датчики № 1, 2, 3).

Значение напряжений по бетону в процессе эксперимента:

- 1) в четверти пролета напряжения по бетону на датчиках № 1, 2, 3 составили 3,808 МПа (рис. 11);
- 2) в центре пролета напряжения по бетону на датчиках № 4, 5, 6 составили 8,197 МПа (рис. 12);
- 3) в четверти пролета напряжения по бетону на датчиках № 7, 8, 9 составили 3,2865 МПа (рис. 13).

Выводы

Полученные в результате эксперимента прогибы величиной 3,34 мм составляют 33,4 % от предельно допустимых для второй группы предельных состояний для плитных конструкций ($1/200 \cdot L = 10$ мм) [8, 9]. При аналитическом расчете прогиб составил 5,52 мм. Сходимость теоретических прогибов с экспериментальными – 39,5 %.

Сходимость теоретических расчетов с экспериментальными значениями для монтажной



Рисунок 10. Зависимость нормальных напряжений на нижней поверхности профнастила в четверти пролета от нагрузки на плиту (датчики № 7, 8, 9).



Рисунок 11. Зависимость нормальных напряжений на верхней поверхности плиты в четверти пролета (датчики № 1, 2, 3 по бетону)

стадии по нормальным напряжениям в середине пролета профлиста составляет 1,44 %.

Сходимость теоретических расчётов в ПК «ЛИРА САПР 2016» с экспериментальными значениями при нагрузке в $1\ 104,6\ \text{кг/м}^2$ по нормальным напряжениям в середине пролета профлиста составляет 33 %.

В результате эксперимента напряжения, возникшие в сжатом бетоне в середине пролета, составили 8,17 МПа, что на 45,53 % меньше расчетного сопротивления бетона В20 сжатию.

На начальных этапах загрузки (до нагрузки $P = 220\ \text{кг/м}^2$) работа материала сохраняет линейность, соблюдается закон Гука. На средних и последних этапах загрузки материал начинает работать нелинейно, вследствие появления пластических деформаций в бетоне. Наблюдается скачок в экспериментальных данных после 22-го загрузки, при нагрузке $P = 1\ 020,6\ \text{кг/м}^2$.

Чтобы довести плиту до разрушения, необходимо увеличить нагрузку: для бетона – на 45,53 % (нормативное значение прочности бетона на

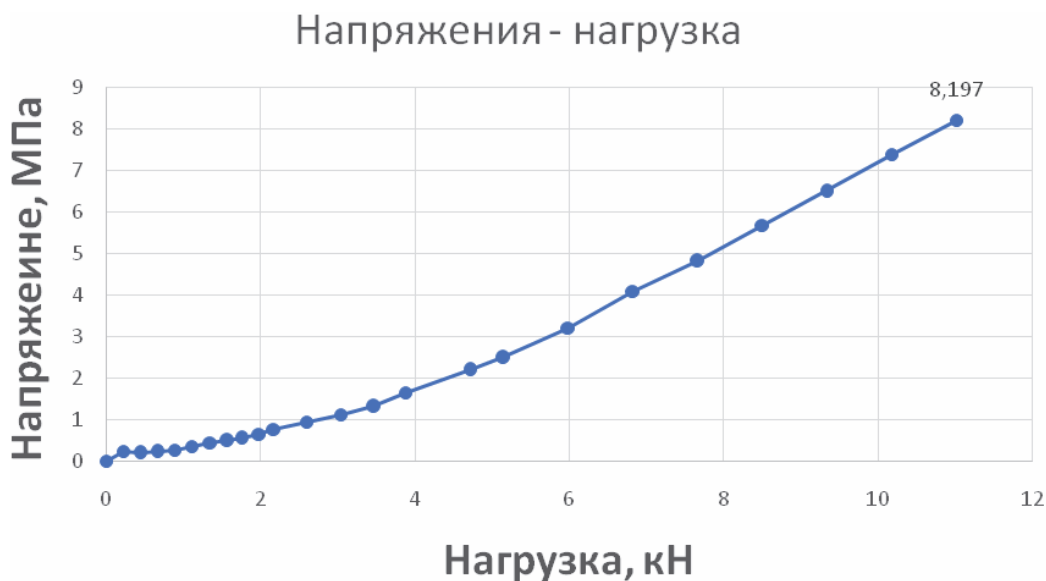


Рисунок 12. Зависимость нормальных напряжений на верхней поверхности плиты в середине пролета (датчики № 4, 5, 6 по бетону).

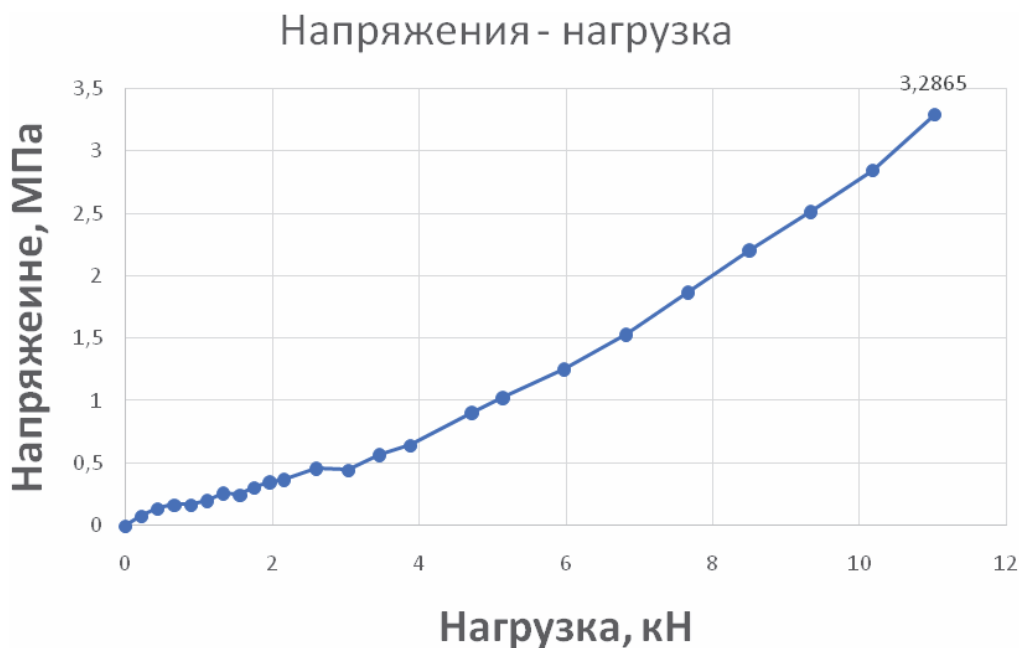


Рисунок 13. Зависимость нормальных напряжений на верхней поверхности плиты в четверти пролета (датчики № 7, 8, 9 по бетону).

осевое сжатие $R_{bn} = 15$ МПа при 8,17 МПа, полученных по [9, 10]), для профилированного настила на 40 % ($R_y = 240$ МПа при $\sigma = 155,52$ МПа – полученных суммированием напряжений от монтажной и эксплуатационной стадий).

Сходимость теоретических расчетов с экспериментальными значениями по образованию трещин составляет 1,02 %. То есть – при экспериментальной нагрузке, которая составляет 11 кПа, начинают образовываться трещины (рис. 14).

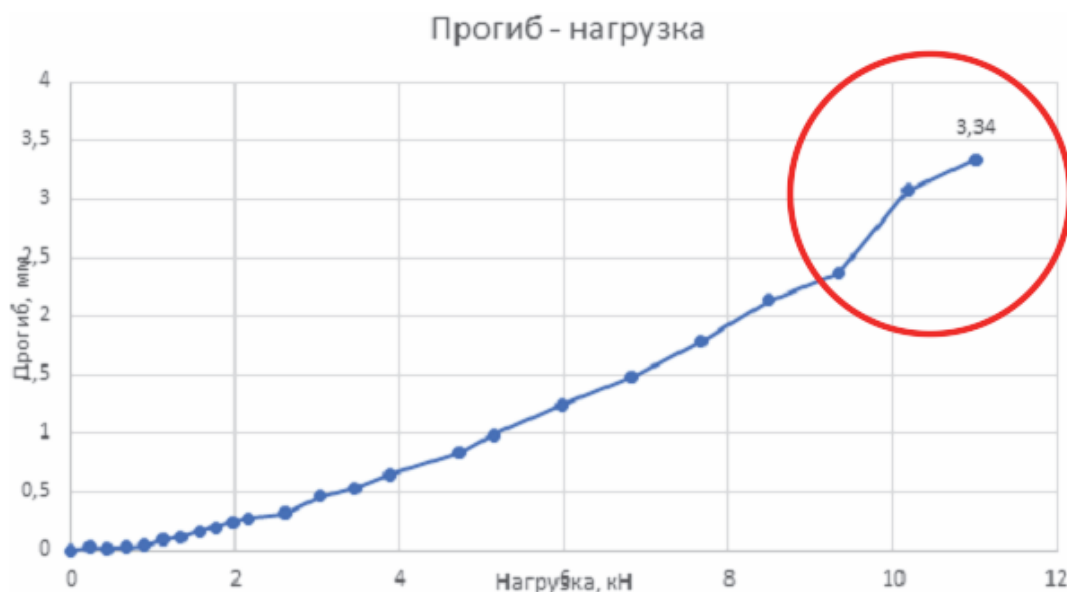


Рисунок 14. Резкое увеличение прогиба в середине пролета плиты при нагрузке 10–11 кПа.

Литература

1. Алмазов, В. О. Применение сталебетона в конструкциях морских нефтегазопромысловых сооружений [Текст] / В. О. Алмазов, З. А. Амирасланов // Бурение и нефть. 2008. № 7–8. С. 15–18.
2. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures [Текст]. Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Supersedes ENV 1994-1-1:1992 ; This European Standard was approved by CEN on 27 May 2004. – Brussels: CEN, 2004. – 121 p.
3. СТО 57398459-001-2010. Профили стальные листовые гнутые для сталебетонных перекрытий. Технические условия [Текст]. – Введ. 2010-01-19. – Рязань : ООО «Стальные конструкции – Профлист», 2010. – 34 с.
4. ГОСТ 24045-94 : Межгосударственный стандарт. Профили стальные листовые с трапециевидными гофрами для строительства [Текст]. – Взамен ГОСТ 24045-86 ; введ. 1995-09-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 20 с.
5. ГОСТ Р 52728-2007. Метод натурной тензотермометрии. Общие требования [Текст]. Введ. впервые 2007-10-01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 16 с.
6. Стороженко, Л. І. Експериментальні дослідження таврових сталежелезобетонних балок з армуванням листами [Текст] / Л. І. Стороженко, О. В. Нижник, А. В. Іванюк // Дороги і мости. 2009. Вип. 11. С. 325–330.

References

1. Almazov, V. O.; Amiraslanov, Z. A. The use of steel concrete in the construction of offshore oil and gas facilities [Text]. In: *Drilling and oil*. 2008. № 7–8. P. 15–18. (in Russian)
2. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures [Text]. Part 1–1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004. 121 p. (in English)
3. STO 57398459-001-2010. Bent steel sheet profiles for steel-concrete floors. Technical specifications [Text]. Ryazan : LLC Steel Structures – Proflist, 2010. 34 p. (in Russian)
4. GOST 24045-94 : Interstate standard. Steel sheet profiles with trapezoidal corrugations for construction [Text]. M. : PPC Standards Publishing, 2003. 20 p. (in Russian)
5. GOST R 52728-2007. Full-scale strain thermometry method. General requirements [Text]. M. : Standardinform, 2007. 16 p. (in Russian)
6. Storozhenko, L. I.; Nizhnik, O. V.; Ivanyuk, A. V. Experimental studies of tee steel-reinforced concrete beams with sheet reinforcement [Text]. In: *Roads and Bridges*, 2009. Vol. 11. P. 325–330. (in Ukraine)
7. Shklyar, V. N. Experiment planning and results processing [Text] : lecture notes for masters in the direction 220200 «Automation and control in technical (mechatronic) systems». Tomsk : Publishing House Tomsk Politechnsc University, 2010. 90 p. (in Russian)

7. Шкляр, В. Н. Планирование эксперимента и обработка результатов [Текст]: конспект лекций для магистров по направлению 220200 «Автоматизация и управление в технических (мехатронных) системах» / В. Н. Шкляр. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 90 с.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003 [Текст]. – Введен впервые; введ. 2019-06-20. – М. : Стандартинформ, 2019. – 124 с.
9. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – Замість СНиП 2.03.01-84*; надано чинності 2011-06-01.- К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 75 с.
10. ГОСТ 9561-91. Плиты перекрытий железобетонные многослойные для зданий и сооружений. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 9561-76 и ГОСТ 26434-85 в части типов, основных размеров и параметров многослойных плит; введ. 1992-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1992. – 12 с.
11. СТО 0047-2005. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование [Текст]. – Введен впервые; введ. 2005-05-10. – М. : ЗАО ЦНИИПСК им. Мельникова, 2005. – 66 с.
8. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Key Points SNiP 52-01-2003 [Text]. M. : Standardinform. 2019. 124 p. (in Russian)
9. DBN V.2.6-98:2009. Concrete and reinforced concrete structures. Key Points [Text]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine. 2011. 75 c. (in Ukraine)
10. GOST 9561-91. Multi-hollow reinforced concrete floor slabs for buildings and structures. Technical specifications [Text]. M. : Standards Publishing. 1992. 12 p. (in Russian)
11. STO 0047-2005. Steel-reinforced concrete floors with a monolithic slab on profiled steel flooring. Calculation and design [Text]. M. : CJSC CRDICMS N. P. Melnikov. 2005. 66 p. (in Russian)

Миронов Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнutosварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

Белый Дмитрий Валерьевич – магистрант, преподаватель-стажер кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: сталежелезобетонные конструкции.

Анищенко Владимир Михайлович – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

Миронов Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широко поличкових двотаврів та гнutosварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

Белій Дмитро Валерійович – магістрант, викладач-стажист кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: сталезалізобетонні конструкції.

Аніщенко Володимир Михайлович – ассистент кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

Mironov Andrey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures,

concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wideband Ibars and rollwelded closed profiles, stressstrain state of steel reinforced concrete structures including pipeconcrete structures.

Belyy Dmitro – Master's student, the teacher-trainee Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: steel-reinforced concrete constructions.

Anishchenkov Vladimir – assistant, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: stressstrain state of composite structures including pipeconcrete structures.