



УДК 624.014 Р36

Башаров Ф.Ф. – аспирант

E-mail: fanzikbashar@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Испытание шпренгельной плиты пролетом 12 м
из стального профилированного настила марки Н114-600
с наименьшей толщиной стенки 0,8 мм**

Аннотация

В отчете изложены результаты натурных испытаний до разрушения шпренгельной плиты покрытия из профилированного настила марки Н114 с минимальной толщиной стенки 0,8 мм пролетом 12 м производства ООО «Эстель» (г. Казань). Разработана методика проведения испытаний. Выполнены поверочные расчеты на испытываемые нагрузки с учетом фактических геометрических размеров. Плита была испытана до разрушения. Выполнен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований с теоретическими данными. Дается анализ работы и схема разрушения шпренгельной плиты и приводятся выводы по результатам испытаний.

Ключевые слова: шпренгельная плита, профилированный настил, методика испытания, напряженно-деформированное состояние, численные исследования.

Проектирование несущих конструкций из профилированного настила сопряжено со значительными трудностями. Они связаны с необходимостью учета всего многообразия внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на несущую способность и деформативность таких конструкций. Поэтому проведение испытаний является единственным подтверждением правильности расчетов и надежности эксплуатации несущих конструкций из профилированного настила. В данной работе приведены результаты испытаний шпренгельной плиты покрытия [1, 2] из профилированного настила Н114-600 с минимальной толщиной 0,8 мм пролетом 12 м производства ООО «Эстель» (г. Казань). Испытания проведены на производственной базе ООО «Эстель» в период с мая по июль 2012 г. сотрудниками КГАСУ с участием разработчиков и сотрудников ООО «Эстель».

Цели эксперимента:

- исследование реальной работы шпренгельной плиты покрытия;
- исследование действительного напряженно-деформированного состояния элементов шпренгельной плиты под нагрузкой, определения запасов несущей способности при нагружении полной расчетной нагрузкой;
- выявление степени достоверности результатов численных исследований шпренгельной плиты, выполненных на программном комплексе Лира 9.4, с экспериментальными исследованиями.

Шпренгельная плита покрытия представляет собой (рис. 1) пространственную конструкцию из профилированного настила, подкрепленного в пролете шпренгельной системой. Использован профнастил марки Н114-600-0.8 согласно [6]. Пролет плиты составляет 12 м. Профилированный настил в пролете подкреплен тремя стержневыми пирамидальными упорами, через вершины которых пропущена и закреплена шпренгельная затяжка (Ø 30 мм). Высота приопорных пирамидальных упоров составляет – 0,7 м, средней – 1,5 м. Грани пирамидальных упоров выполнены из труб с наружным диаметром 38 мм и толщиной стенки 3 мм. Основания пирамидальных упоров, выполненные из прокатных равнополочных уголков 50 х 5, крепятся к нижнему поясу профилированного настила на самонарезающих винтах Ø 4,2 мм.

Процесс сборки плиты начинался с доведения элементов шпренгельной плиты до нужных размеров. В первую очередь на испытательный стенд (опоры) были установлены два листа профилированного настила с нахлестом нижних полок по ширине плиты. Профнастил укладывался широкими полками вверх. Второй очередью к стержневым пирамидальным упорам, выполненным на специализированном заводе по изготовлению металлоконструкций ООО «РАФФ», были приварены продольные элементы из

прокатных швеллеров № 10. Далее производился монтаж пирамидальных упоров на профилированный настил, находящийся в испытательном стенде. Сначала были смонтированы приопорные пирамиды, а затем – средняя пирамида. Пирамидальные упоры подводились снизу плиты и с помощью домкрата приподнимались и были зафиксированы в проектное положение по краям четырьмя струбцинами. После окончательной выверки пирамидальный упор закрепили к профнастилу сверху при помощи самонарезающих болтов $\varnothing 4,2$ мм. Крепление уголков приопорной пирамиды на каждой волне осуществлялось шестью самонарезающими винтами, что больше расчетного количества в полтора раза. А продольные элементы из швеллеров были прикреплены восемью саморезами с каждой стороны уголка. Повышение надежности крепления шпренгельной системы к профилированному настилу было сделано с той целью, чтобы возможное разрушение плиты произошло не по узловому соединению, а по верхнему поясу плиты, что позволит нам более подробно исследовать работу профилированного настила. Также на этом этапе были скреплены между собой два листа профилированного настила самонарезающими болтами с шагом 300 мм. В последнюю очередь была смонтирована затяжка, выполненная из стержня круглого сечения $\varnothing 30$ мм. Затяжка пропусклась через отрезки труб на вершинах приопорной пирамиды и в пролете на сварке приваривалась к согнутой пластине снизу. Второй конец затяжек, проходящий через отрезок трубы приопорных пирамидальных упоров, имеет резьбу длиной 150 мм. Для преднапряжения шпренгельной плиты на данных концах затяжек установлены шайба и гайка. Окончательный вид испытываемой конструкции приведен на рис. 1.

Преднапряжение шпренгельной плиты было выполнено с той целью, чтобы опасные сечения конструкции одновременно достигали предела прочности (или были близкими к пределу прочности). Для этого численными исследованиями была найдена величина предварительного выгиба (строительного подъема) плиты, равная 30 мм. На полученную величину шпренгельной плите придали строительный подъем путем одновременного поворота гаек на концах затяжки.



Рис. 1. Общий вид испытываемой конструкции

Для испытания шпренгельной плиты пролетом 12 м был изготовлен стенд (рис. 1) кладкой из бетонных фундаментных блоков ФБС 4.12. Сверху на фундаментные блоки были установлены две металлические балки из квадратного профиля 160 x 160 x 7 мм, имитирующие верхний пояс стропильной конструкции. Разработанная конструкция стенда позволяет испытывать конструкции высотой до 2 м и пролетом до 12 м.

Методика проведения испытаний. Для регистрации прогибов плиты использована горизонтально натянутая металлическая струна, относительно которой с помощью металлической линейки с ценой деления 0,05 мм выполнялись измерения в девяти характерных точках (рис. 2). Натянутая струна с одной стороны была жестко закреплена при помощи струбцин, а на другой конец струны через неподвижный блок подвешивался груз весом 6,5 кг.

Горизонтальные узловые смещения на опорах фиксировались штангенциркулем с ценой деления 0,01 мм.

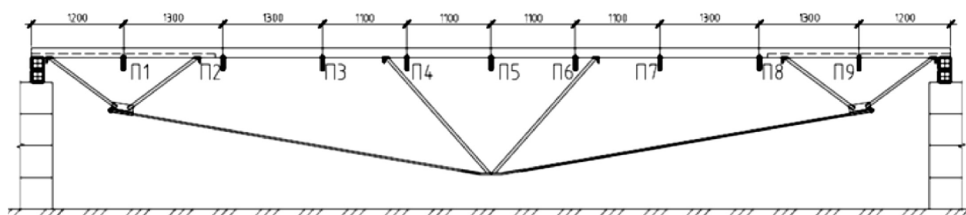


Рис. 2. Схема расположения точек измерения прогибов плиты

В эксперименте показания по приборам снимались непосредственно перед приложением нагрузок и после нагружения. При этом после приложения нагрузки конструкцию выдерживали в течение трехкратного времени нагружения. Нагрузку прикладывали ступенями в равные промежутки времени, составляющие 10...15 мин.

Деформации в сжатых и растянутых полках профилированного настила в наиболее нагруженных сечениях вдоль действия усилия определялись с помощью тензометров Гугенбергера. Тензометры размещены на нижних крайних полках профилированного настила.

Во время испытания производили непрерывное визуальное наблюдение за поведением исследуемой шпренгельной плиты.

Для создания равномерно распределенной нагрузки были сконструированы и изготовлены 6 деревянных платформ (см. рис. 1). Платформы состоят из горизонтальных двух верхних (150 x 200 мм) и двух нижних (100 x 150 мм) деревянных брусьев, соединенных между собой вертикальными шпильками Ø 10 мм. На нижние балки настелен сплошной деревянный настил из досок толщиной 35 мм. Использование данных платформ дает возможность приложения нагрузок (газобетонных блоков) только снизу конструкции, что обеспечивает безопасное проведение испытаний. В качестве грузов были использованы газобетонные блоки (масса одного блока составляет 22 кг), которые укладывались на деревянные платформы. Перед нагружением каждый блок взвешивался. Нагрузка прикладывалась ступенями, составляющими 10 % от предполагаемой критической нагрузки в начале испытания и 1-5 % – в конце. После каждого нагружения осуществляется выдержка до полной остановки изменения показаний приборов, но не менее 15 минут. Для решения поставленных задач испытания плиты разделены на 2 стадии.

Первая стадия – пробное нагружение конструкции для выявления и устранения возможных несовершенств испытательного стенда, проверки работы приборов. На данной стадии испытания проводились без предварительного напряжения шпренгельной плиты.

Вторая стадия – испытание конструкции до разрушения: исследовалась работа плиты при нагружении нормативной, расчетной и разрушающей нагрузками. Определены фактические значения критической и разрушающей нагрузки, а также выявлены резервы несущей способности. За критическую нагрузку принята нагрузка, соответствующая потере местной устойчивости сжатых полок профилированного настила верхнего пояса. За разрушающую нагрузку принята нагрузка, соответствующая потере несущей способности конструкции в целом.

Перед выполнением второй стадии испытаний шпренгельную плиту полностью разгрузили и поворотом гаек на концах затяжки с помощью обычного гаечного ключа плите придали строительный подъем (преднапряжение) на величину, равную прогибу от расчетных нагрузок.

Мероприятия по технике безопасности. Перед проведением испытания был проведен инструктаж со всеми членами бригады, непосредственно участвующими в испытаниях конструкции.

Для предотвращения возможного обрушения при нагружении и потере общей устойчивости из плоскости конструкции было предусмотрено страхующее устройство, расположенное в пролете плиты. Страхующее устройство состоит из двух элементов:

- трос, жестко закрепленный одним концом в бетонную стену, а другим – прикрепленный к плите;

- упор из деревянного бруса, прикрепленный на саморезах одним концом к верхним полкам профилированного настила, а другим концом с определенным зазором упирающийся на бетонную стену.

Нагрузка из газобетонных блоков устанавливалась на платформы таким образом, чтобы затяжка проходила между рядами блоков с небольшим зазором. Такое приложение нагрузки также дополнительно исключало потерю общей устойчивости плиты из плоскости.

Для обеспечения аварийного сброса нагрузки после разрушения плиты под деревянными платформами были установлены тумбочки из газобетонных блоков и деревянных досок. По мере прогибания плиты под нагрузкой деревянные доски поэтапно демонтировались.

Поверочные расчеты испытываемой конструкции. Численные расчеты проводились с применением конечно-элементной модели, разработанной на программном комплексе Лира 9.4. Профилированный настил моделировался четырехузловыми пластинчатыми элементами. Элементы шпренгельной системы задавались в виде двухузловых стержневых конечных элементов пространственной фермы. В расчетной модели нагрузка (эквивалентная) приложена к верхним полкам профилированного настила.

Результаты расчетов на Лире 9.4 приведены в табличной форме. Предварительное напряжение плиты моделировалось изменением температуры в затяжке. Схема распределения напряжений в профнастиле и деформированная схема плиты отражены на рис. 3 и 4.

Таблица

№ этапа	Нагрузка, кг/м ²	Эквивалентная нагрузка на верхние полки, кг/м ²	Максимальные напряжения в профнастиле, кг/см ²		Усилие в затяжке, кг	Усилие в растянутой стойке, кг	Усилие в сжатой стойке, кг	Прогиб, мм
			Растягивающие	Сжимающие				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Преднапряжение	0	0	185	-273	450	185	-98	+30
1	160	1702	440	-918	3023	1192	-717	9,1
2	233 (нормативная)	5142	620	-1260	4265	1694	-1031	13,6
3	307 (расчетная)	5922	793	-1554	5445	2156	-1315	17,8
4	380	6702	1079	-2045	7404	2923	-1786	19,9
5	417 (критическая)	7092	1051	-1997	7216	2849	-1740	24
6	453	7482	1137	-2144	7805	3079	-1882	25,8
7	527 (вероятное разрушение)	8262	1309	-2439	8985	3541	-2165	30,31
8	600	9043	1482	-2734	10164	4003	-2449	34,5
9	673 (произошло разрушение)	9823	1654	-3029	11344	4465	-2732	38,7

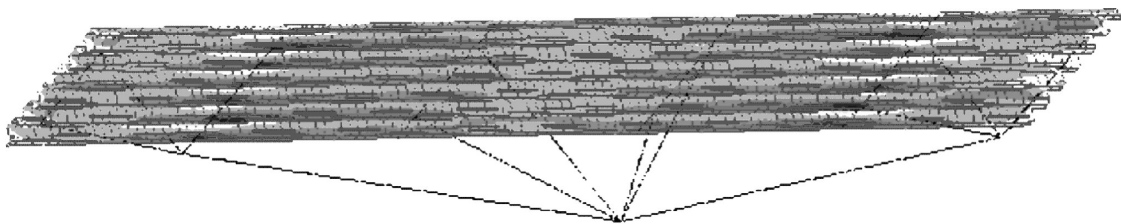


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений в профнастиле

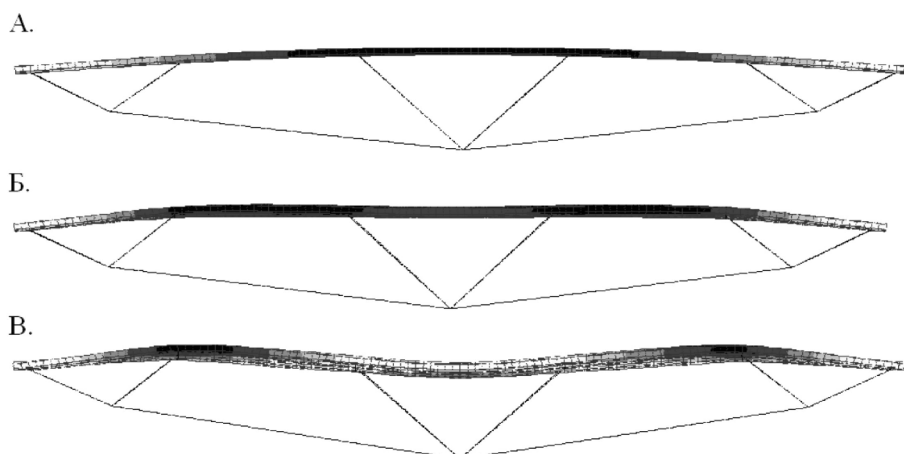


Рис. 4. Деформированные схемы плиты на различных этапах загрузки:
 А – при преднапряжении (строительный подъем на 3 см); Б – при действии расчетных нагрузок (этап № 3, $q = 307 \text{ кг/м}^2$); В – при действии разрушающей нагрузки (этап № 9, $q = 673 \text{ кг/м}^2$)

Результаты испытаний. Испытание проводилось в девять этапов:

- 1-ый этап – нагрузка 160 кг/м^2 ;
 - 2-ый этап – нагрузка 233 кг/м^2 (нормативная нагрузка);
 - 3-ий этап – нагрузка 307 кг/м^2 (расчетная нагрузка);
 - 4-ый этап – нагрузка 380 кг/м^2 ;
 - 5-ый этап – нагрузка 417 кг/м^2 (критическая нагрузка);
 - 6-ой этап – нагрузка 453 кг/м^2 ;
 - 7-ой этап – нагрузка 527 кг/м^2 ;
 - 8-ой этап – нагрузка 600 кг/м^2 ;
 - 9-ый этап – нагрузка 673 кг/м^2 (конструкция разрушилась).
- Фотографии этапов нагружения плиты показаны на рис. 5, 6.



Рис. 5. 3-ий этап нагружения



Рис. 6. 9-ый этап нагружения

В результате эксперимента были получены следующие данные. При нормативной нагрузке, которой соответствует 2-ой этап загрузки ($q = 233 \text{ кг/м}^2$), максимальный прогиб плиты составил 13,8 мм, что меньше теоретического прогиба, установленного численными исследованиями, равного 16 мм, на 14 % и меньше предельно допустимого на 77 % ($[f] = 1/200 = 60 \text{ мм}$).

Максимальные сжимающие напряжения в профнастиле, которые оценивались по результатам обработки показаний тензометров Гугенбергера, при расчетной нагрузке $q = 307 \text{ кг/м}^2$ зафиксированы в середине пролета плиты и в сечении в месте примыкания сжатой стойки пирамиды и соответственно составляют -1242 кг/см^2 , -1283 кг/см^2 . При сопоставлении максимальных значений нормального напряжения в профнастиле, полученных экспериментальным путем и численным, установлено, что разница составляет 18 %. Данная разница значений напряжений вероятнее всего возникла от погрешностей приборов.

Как видно из рис. 10, в испытаниях до 7-го этапа экспериментальные прогибы плиты меньше теоретических на 1,2-15 %. А после этапов 7 и 8 экспериментальные прогибы больше теоретических на 1-7,2 %. Это означает, что с 7-го этапа испытаний в конструкции начались пластические деформации.

На первых двух этапах нагружения в конструкции никаких изменений не наблюдалось. На 3-м этапе (при расчетных нагрузках) зафиксировано начало местных выпучиваний крайних стенок профнастила в месте примыкания уголков (над сжатой стойкой) приопорных пирамид. На следующих этапах нагружения увеличение выпучивания стенок на данном участке не наблюдалось. На 6-ом этапе нагружения зафиксировано начало потери местной устойчивости гладких участков стенок профнастила.

Разрушение плиты началось на 8-м этапе испытаний (при этом плита оставалась практически в прямом состоянии):

- выпучивание (потеря местной устойчивости) стенок профнастила в месте примыкания полок свободного края швеллера на левой пирамиде;
- во всех стенках профнастила наблюдается потеря местной устойчивости гладких участков.

Разрушение плиты произошло от исчерпания несущей способности шпренгельной плиты на 9-м этапе испытаний при нагрузке $q = 673 \text{ кг/м}^2$. Как и предполагалось теоретически, причиной исчерпания несущей способности явилась местная потеря устойчивости профнастила, которая возникла у правой пирамиды (рис. 7) в месте примыканий сжатых стоек к профнастилу (потеря местной устойчивости сжатых стенок и полок). Дальнейшее разрушение плиты продолжилось местной потерей устойчивости сжатых стенок и полок еще в двух сечениях:

- в середине пролета под деревянной балкой;
- у левой пирамиды в месте примыканий сжатых стоек к профнастилу.



Рис. 7. Разрушение плиты у правой пирамиды (потеря местной устойчивости сжатых стенок и полок) на 9-ом этапе нагружения (673 кг/м^2)

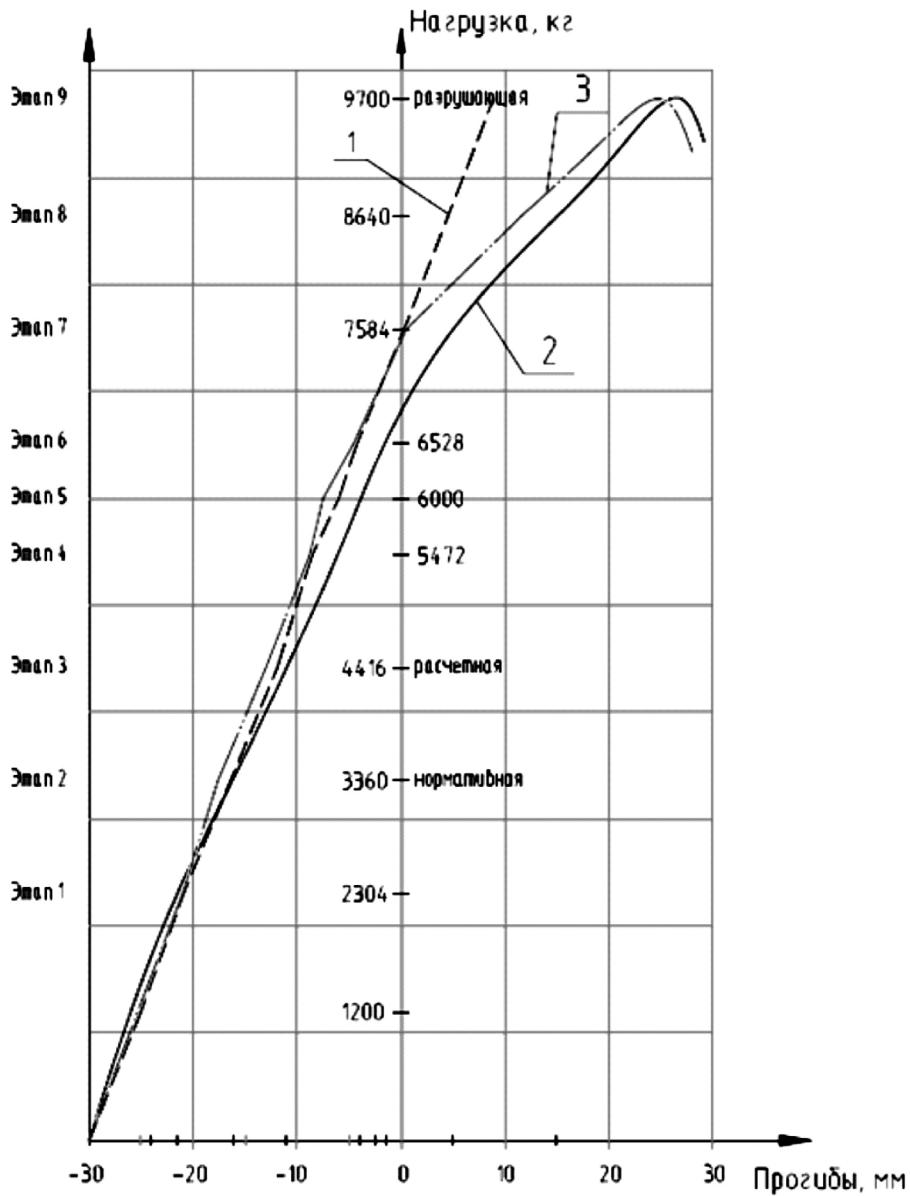


Рис. 8. Диаграмма нагрузка-прогиб:
 1 – теоретическая диаграмма; 2 – экспериментальная диаграмма по данным оси «А1-А1»;
 3 – экспериментальная диаграмма по данным оси «А2-А2»

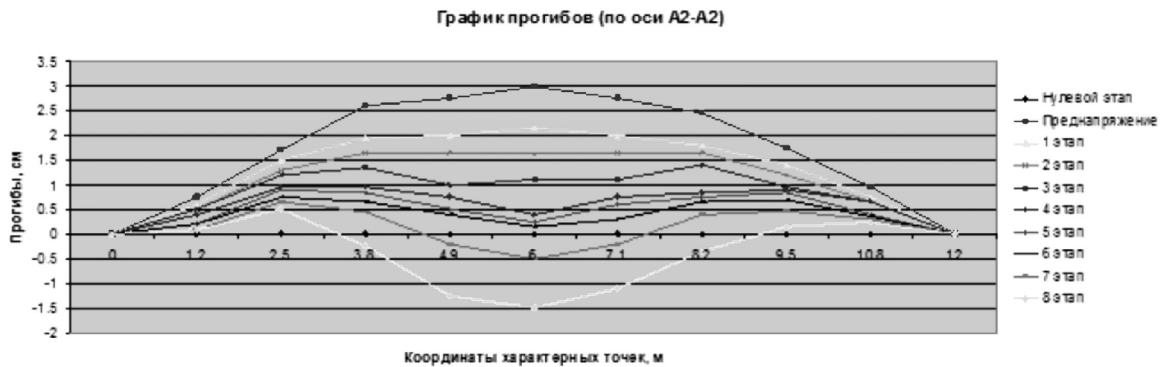


Рис. 9. График прогибов на различных этапах нагружения.
 Экспериментальные данные по оси А2-А2

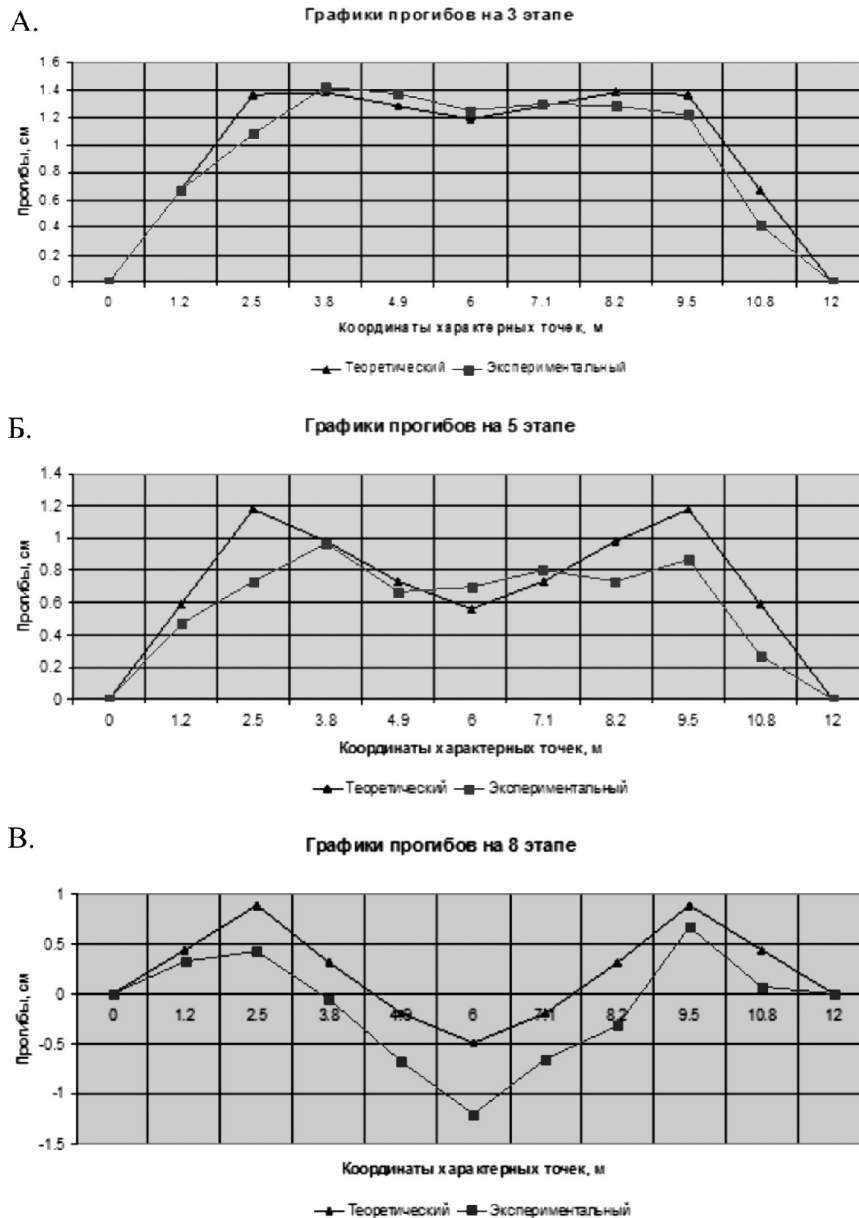


Рис. 10. Сравнение экспериментальных прогибов плиты с теоретическими:

- А. На 3 этапе нагружения: расчетная нагрузка 307 кг/м^2 (46 % от разрушающей);
 Б. На 5 этапе нагружения: критическая нагрузка 417 кг/м^2 (62 % от разрушающей);
 В. На 8 этапе нагружения. Этап, предшествующий разрушению: нагрузка 600 кг/м^2 (90 % от разрушающей)

Выводы. В результате проведенных экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Изготовление, сборка и монтаж преднапряженной шпренгельной плиты подтвердили технологичность разработанного конструктивного решения плиты;
2. В результате испытаний установлена хорошая сходимость численных и экспериментальных исследований: разница сравниваемых максимальных величин прогибов плиты и нормальных напряжений в профилированном настиле не превышает 18 %;
3. Максимальный прогиб плиты при нормативной нагрузке ($q_n = 233 \text{ кг/м}^2$) составил 13,8 мм, что меньше предельно допустимого на 77 % ($[f] = L / 200 = 60 \text{ мм}$);
4. Максимальные сжимающие напряжения в профнастиле при действии расчетной нагрузки ($q_p = 307 \text{ кг/м}^2$) составили 1554 кг/см^2 , что меньше расчетного сопротивления стали для профнастила $R_y \gamma_c = 2205 \text{ кг/см}^2$ на 29 %;

5. Разрушение плиты произошло от исчерпания несущей способности шпренгельной плиты на 9-м этапе испытаний при нагрузке $q = 673 \text{ кг/м}^2$. Как и предполагалось теоретически, причиной исчерпания несущей способности явилась местная потеря устойчивости профнастила, которая возникла у правой пирамиды в месте примыканий сжатых стоек к профнастилу (потеря местной устойчивости сжатых стенок и полок); дальнейшее разрушение плиты продолжилось местной потерей устойчивости сжатых стенок и полок еще в двух сечениях: в середине пролета под деревянной балкой и у левой пирамиды в месте примыканий сжатых стоек к профнастилу;

6. Фактический коэффициент безопасности конструкции, вычисленный как: $K_{\text{без}} = N_{\text{разр.}} / N_{\text{расч.}}$, где, $N_{\text{расч.}} = 307 \text{ кг/м}^2$ – значение расчетной нагрузки, $N_{\text{разр.}} = 673 \text{ кг/м}^2$ – значение разрушающей нагрузки; составил $K_{\text{без}} = 2,19$.

Из этого следует, что разработанная конструкция шпренгельной плиты обладает достаточной прочностью, жесткостью и может быть рекомендована для применения в опытном строительстве.

Данная работа выполнена под руководством профессора кафедры МКИИС КГАСУ Хисамова Р.И.

Список литературы

1. Патент на изобретение «Плита покрытия» RU 2436909 С1 от 15.02.2010. Авторы: Хисамов Р.И., Башаров Ф.Ф.
2. Патент на изобретение «Плита покрытия» RU 2454515 С1 от 26.11.2010. Авторы: Хисамов Р.И., Башаров Ф.Ф.
3. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – М., 2011. – 93 с.
4. СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М., 2011. – 172 с.
5. Кузнецов В.В. Металлические конструкции. Том 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование и испытание конструкций зданий и сооружений. – М.: Издательство АСВ, 1999. – 528 с.
6. ГОСТ 24045-94 (2002) Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. – Взамен ГОСТ 24045-86; введ. 01.09.1995. – М.: Изд. стандартов, 1995. – 17 с.

Basharov F.F. – post-graduate student

E-mail: fanzikbashar@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Testing the 12 m span strut-framed slab made of H114-600 grade steel decking with deck thickness minimum 0,8 mm

Resume

The paper provides test results for a 12 m span strut-framed slab made of steel decking H114-600 with deck thickness minimum 0,8 mm produced by Estel Company, Kazan.

Objectives of the test:

- study strut-framed slab behavior;
- study stress-strain mode of strut-framed slab members under load; estimate bearing capacity reserves for total design loading;
- reliability degree checkup of the results of a strut-framed slab numerical study executed with the Lira software by comparing them with test results.

To test a 12 m span strut-framed slab a workbench made of concrete foundation blocks was installed. To keep records of slab sagging a horizontally drawn metal string was engaged, and metal rulers installed vertically at nine characteristic points were checked against the string. Horizontal shift at bearings was recorded using a vernier caliper with the value of the smallest graduation 0,01 mm.

Strain of profiled steel decking flanges at most loaded points were estimated using a Gugenberger strain gauge. Strain gauges were located at lowermost flanges of profiled steel decking.

Verification calculations were carried out for tested loads taking into account factual sizes of structures.

Test results have shown high convergence of numerical and experimental investigations: the difference between compared values of slab sagging and normal stress does not exceed 18 %. The slab failed as a result of exceeding the limit of bearing capacity of a strut-framed slab at the 9th stage of testing under load $q = 673 \text{ kg/m}^2$. As expected from theory, the reason of bearing capacity failure was local buckling of profiled steel decking which occurred at the right pyramid.

Keywords: strut-framed slab, steel decking, test methodology, mode of deformation, numerical investigation.

References

1. Patent for the invention «Covering plate» RU 2436909 C1 from 15.02.2010. Authors: Hisamov R.I., Basharov F.F.
2. Patent for the invention «Covering plate» RU 2454515 C1 from 26.11.2010. Authors: Hisamov R.I., Basharov F.F.
3. The joint venture 20.13330.2011 «Loadings and influences» the Staticized edition Construction Norms and Regulations 2.02.01-83*. – M., 2011. – 93 p.
4. The joint venture 16.13330.2011 «Steel designs» the Staticized edition II-23-81* Construction Norms and Regulations. – M., 2011. – 172 p.
5. Kuznetsov V.V. Metal designs. Volume 3. Steel constructions, designs from aluminum alloys. Reconstruction, inspection and test of designs of buildings and constructions. – M.: ASV publishing house, 1999. – 528 p.
6. GOST 24045-94 (2002) Profiles steel sheet bent with trapezoid гофрами for construction. Instead of GOST 24045-86; 01.09.1995. – M.: Prod. standards, 1995. – 17 p.