

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ВЫШТАМПОВОК НА ИЗГИБ

И.А. РУМЯНЦЕВА, д-р техн. наук, доцент  
ФБОУ ВПО «Московская государственная академия водного транспорта»  
117105, г. Москва, Новоданиловская набережная, дом 2, корпус 1. E-mail: rumira@bk.ru

Проведены экспериментальные исследования работы на изгиб образцов сталежелезобетонных перекрытий с арматурой из стальных профилированных настилов, на стенках которых выполнялись различные виды выштамповок. Рекомендованы значения коэффициента условия работы стального профилированного настила с разными видами выштамповок на стенках в составе сталежелезобетонного перекрытия, необходимые в расчетах перекрытий по прочности по нормальным сечениям.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** испытания на изгиб, выштамповки, сцепление с бетоном, стальные профилированные настилы, сталежелезобетонные перекрытия, коэффициент условия работы настила.

В реальной конструкции здания сталежелезобетонные перекрытия с арматурой из стальных профилированных настилов, работают на поперечный изгиб. Поэтому после исследования работы разных видов выштамповок на сдвиг было решено исследовать работу на изгиб стального профилированного настила, на стенках которого выполнены разные виды выштамповок, в составе сталежелезобетонного перекрытия. При оценке сцепления с бетоном выштамповок различных видов наименее эффективными при работе на сдвиг оказались модели с «круглыми» выштамповками. Поэтому их из дальнейших исследований исключили.

Испытания на изгиб проводились на образцах сталежелезобетонных перекрытий, представляющих собой бетонные плиты (1) длиной 2,2 м, толщиной 160 мм, шириной 330 – 490 мм армированные стальными профилированными листами. Ширину образцов принимали равной ширине двух гофров стальных профилированных листов (2) (рис. 1).



Рис. 1. Поперечное сечение образца

В качестве арматуры использовались стальные профилированные листы (2) толщиной 1,0 мм марок Н60-845-1,0; Н80А-674-1,0 и Н80-674-1,0 и высотой 60 и 80 мм соответственно. Стальные профилированные листы марок Н80-674 и Н80А-674, имеющие одинаковые геометрические размеры, отличались тем, что у листа марки Н80-674 были гладкие наклонные стенки, а на стенках листа марки Н80А-674 призматические выштамповки, выполненные при прокатке [1]. В образцах профилированные листы располагались широкими полками вниз. Предел текучести стали настила находился в диапазоне 260 – 320 МПа. Предел прочности бетона образцов на сжатие составлял 21 – 30 МПа. По концам профилированные листы прикреплялись к стальным опорным пластинам (4) шириной 60 мм и толщиной 10 мм сварными электрозаклепками или вертикальными стержнями (3) из периодической арматуры диаметром 14 мм и высотой 120 мм.

Было изготовлено 24 образца, разделенные на 7 серий. В каждой серии испытывались образцы с одинаковыми марками стального профилированного листа, прочностью бетона и видом опорной анкеровки. Образцы в каждой серии отличались только видом выштамповок, нанесенных на стенки стальных профилированных листов. Для оценки работ образцов со стальным профилированным листом, имеющим выштамповки, были изготовлены образцы с гладкими стальными профилированными листами.

В сериях 1, 2 и 3 профилированные листы прикреплялись к опорным пластинам электрозаклепками (по две в каждом гофре).

В сериях 4 и 5 профилированные листы приваривались через лист к опорным пластинам опорными анкерами в виде вертикальных стержней из периодической арматуры диаметром 14 мм и длиной 120 мм (по два стержня в каждом гофре).

В серии 6 у трёх образцов прикрепление к опорной пластине выполнялось сварными электрозаклепками, а у двух - вертикальными опорными анкерами. Использовали стальной профилированный лист марки Н60-845-1,0 высотой 60 мм и толщиной 1,0 мм.

В серии 7 для двух образцов применяли стальной профилированный лист марки Н80-674-1,0 высотой 80 мм и толщиной 1,0 мм, на стенки которого были нанесены выштамповки «змейка». В двух других образцах этой серии использовали стальной профилированный лист марки Н80А-647-1,0 с призматическими выштамповками.

Образцы испытывали на чистый изгиб по однопролетной схеме с пролетом 2,0 м. Линейно распределенную по ширине нагрузку прикладывали в третях пролета.

По результатам проведенных испытаний образцов со стальными профилированными листами марки Н60-845-1,0 (высотой 60 мм и толщиной 1,0 мм) были определены предельные максимальные значения нагрузки, соответствующие разрушению образцов. Разрушающая (предельная) нагрузка у образцов с гладкими (без выштамповок) стальными профилированными листами без опорных анкеров (с электрозаклепками) составляла 12 – 13 кН, у образцов с гладким листом с опорными анкерами - 23 – 25 кН. Разрушающая нагрузка у образцов со стальным профилированным листом с «наклонными» выштамповками без опорных анкеров составляла 17 – 20 кН, у образцов с опорными анкерами – 27 - 31 кН. Разрушающая нагрузка у образцов со стальным профилированным листом с выштамповками «елочка» при угле наклона ветвей выштамповок к горизонтالي 45° без опорных анкеров составляла 18 кН, у образцов с опорными анкерами – 34 - 35 кН. Разрушающая нагрузка у образцов со стальным профилированным листом с выштамповками «елочка» при угле наклона ветвей 75° без опорных анкеров составляла 17 – 22 кН, у образцов с опорными анкерами – 31 – 33 кН. Разрушающая нагрузка у образцов со стальным профилированным листом с выштамповками «змейка» без опорных анкеров составляла 22 кН, у образцов с опорными анкерами - 31 – 33 кН (табл.).

*Таким образом, установка двух опорных анкеров в каждом гофре увеличивала несущую способность образцов, тем самым значительно повышала эффективность работы стального профилированного листа в качестве внешней рабочей арматуры сталежелезобетонного перекрытия.*

До появления поперечной трещины в растянутой зоне бетона в одном из сечений приложения нагрузки (на расстоянии от опоры равном 1/3 пролета) у всех образцов сдвиг бетона относительно листа и прогиб в середине пролета образца были незначительными.

Таблица. Определение экспериментального изгибающего момента

Марка профиля	Серия	H, Высота, см	B, Ширина, см	L, Пролет, см	$R_y$ , кН/см <sup>2</sup>	$R_y W_{min}$ , кНсм	Пределная эксперим. нагрузка, $P_3$ , кН	$P_3 L/3 - R_y W_{min}$ . в один гофр, кНсм	$\gamma_n$	Mт, кНсм	Mэ, кНсм	Mэ/Mт
Н60-845-1,0 без анкеров $W_{min}=24,69/2=$ $=12,345\text{см}^3$	Е1 гладкий	16	42,3	200	26	271,54	13	595,13	<b>0,3</b>	324,94	297,21	0,91
	12						528,46	326,69		263,92	0,81	
	Е2 наклонная						17	861,79	<b>0,4</b>	429,33	430,39	1,0
	20						1061,79	432,93		530,27	1,22	
	Е4 елочка 45						18	928,46	<b>0,4</b>	431,84	463,68	1,07
	18						928,46	432,93		463,68	1,07	
Е5 елочка 75	17	861,79	<b>0,5</b>	535,1	430,39	0,8						
22	1195,13	536,87		596,86	1,11							
Е6 змейка	22	1195,13	<b>0,6</b>	635,02	596,86	0,94						
22	1195,13	637,87		596,86	0,94							
Н60-845-1,0 с анкерровкой (по 2 в гофре) $W_{min}=24,69/4=$ $=6,17\text{см}^3$	Е1 гладкий	16	42,3	200	32	334,21	25	1332,46	<b>0,4</b>	525,09	665,44	1,27
	23						1199,12	531		598,85	1,13	
	Е2 наклонная						27	1465,79	<b>0,6</b>	785,77	732,03	0,93
	31						1732,46	786,81		865,21	1,1	
	Е4 елочка 45						34	1932,46	<b>0,7</b>	894,87	965,09	<b>1,08</b>
	35						1999,12	910,37		998,38	<b>1,1</b>	
Е5 елочка 75	31	1732,46	<b>0,7</b>	911,09	865,21	<b>0,95</b>						
33	1865,79	912,8		931,79	<b>1,02</b>							
Е6 змейка	31	1732,46	<b>0,8</b>	1034,81	865,21	<b>0,84</b>						
33	1865,79	1037,24		931,79	<b>0,9</b>							
Н80-674-1,0 без анкерровки $W_{min}=10,69\text{см}^3$	Е6 змейка	16	33,7	200	26	378,26	19	888,41	<b>0,5</b>	473,6	444,21	<b>0,94</b>
	19											
Н80А-674-1,0	Н80А-674-1,0	16	33,7	200	26	378,26	11	355,07	<b>0,2</b>	196,15	177,54	<b>0,91</b>
							12	421,74		21,87	<b>1,08</b>	

Образование трещины сопровождалось резким увеличением прогиба и сдвига, за счет уменьшения жесткости образца из-за нарушения сцепления с бетоном профилированного листа. После появления трещины рост нагрузки вызывал заметное увеличение сдвига бетонной части образца относительно профилированного листа. Особенно это было заметно в образцах с гладкими листами без опорных анкеров. В образцах без опорных вертикальных анкеров с профилированными листами с выштамповками увеличение сдвига и прогиба происходило менее интенсивно. В образцах без опорных анкеров с профилированным листом с выштамповками «елочка» с углом наклона ветвей выштамповок  $75^\circ$  нарастание сдвига и прогиба происходило быстрее по сравнению с другими образцами. Следующими по нарастанию деформаций (сдвиг и прогиб) были образцы со стальным профилированным листом с «наклонными» выштамповками, затем образцы со стальным профилированным листом с выштамповками «елочка» с углом наклона ветвей  $45^\circ$ , и медленнее всего нарастали деформации в образцах с выштамповками «змейка». В образцах без опорных анкеров разрушение происходило при прогибах, значительно меньших допустимого прогиба.

Предельная разрушающая нагрузка в образцах при отсутствии опорных анкеров со стальным профилированным листом с выштамповками «змейка» была выше на 70 % по сравнению с образцами с гладким профилированным листом без опорных анкеров. Такое же соотношение нагрузок было получено при испытании образцов на изгиб при сдвиге 0,3 мм и появлении вертикальной трещины. При испытаниях на изгиб образцов с листами с другими видами выштамповок предельные нагрузки были выше на 30 – 45 % по сравнению с предельными нагрузками образцов с гладким профилированным листом. Однако указанные предельные нагрузки были значительно меньше по сравнению с предельными нагрузками образцов с профилированным листом с выштамповками «змейка».

Установка опорных анкеров повышала жесткость образцов. Самое интенсивное нарастание сдвига и прогиба было в образцах с гладким профилированным листом. Затем следовали образцы со стальным профилированным листом с «наклонными» выштамповками. Следующими по нарастанию деформаций были образцы с листом с выштамповками «елочка» с углом наклона ветвей  $75^\circ$ , затем образцы с листом с выштамповками «елочка» и углом наклона ветвей  $45^\circ$ . Медленнее всего нарастали деформации в образцах с листом с выштамповками «змейка». Образцы со стальными профилированными листами с выштамповками «змейка» показали самое большое значение разрушающей нагрузки. Жесткость этих образцов также оказалась наибольшей. Допускаемый прогиб, принятый равным 1/150 пролета, был достигнут только в образцах с опорными вертикальными анкерами. При сравнении работы образцов с гладкими стальными профилированными листами и работы образцов с профилированными листами с выштамповками, последние работали более эффективно. Это можно объяснить большим сцеплением бетона со стальными профилированными листами с выштамповками, обеспечивающими лучшую совместную работу листа с бетоном.

Сравнение работы на изгиб образцов со стальным профилированным листом марки Н80А-674-1,0 с призматическими выштамповками (прокатываемым для армирования сталежелезобетонных перекрытий) с работой образцов со стальным профилированным листом марки Н80-674-1,0 с выштамповками «змейка» показало, что последние лучше работали. Согласно зависимости «нагрузка – прогиб» в образцах без опорных анкеров с выштамповками «змейка» сдвиг бетона относительно листа равный 0,3 мм, возникал при нагрузке почти в 4 раза меньшей, чем в образцах с листом марки Н80А-674-1,0.

Прогиб образцов с листом марки Н80А-674-1,0 при сдвиге 0,3 мм был в 2,5 раза больше, чем в образцах с листом марки Н80-674-1,0 с выштамповками «змейка». Предельная нагрузка у образцов с листами марки Н80А-674-1,0 с выштамповками «змейка» примерно на 50 % выше, чем у образцов со стальным профилированным листом марки Н80А-674-1,0, имеющим призматические выштамповки.

По результатам испытаний на изгиб образцов были определены коэффициенты условия работы исследуемых стальных профилированных листов с разными видами выштамповок. Сравнение результатов испытаний и расчета показало, что ни один из рассмотренных видов стальных профилированных листов с выштамповками не позволил полностью реализовать в образцах прочностные свойства исследуемых стальных профилированных листов даже при установке опорных анкеров.

В образцах без опорных анкеров с гладким стальным профилированным листом марки Н60-845-1,0 коэффициент условия работы принимали равным  $\gamma_s=0,3$ . В образцах без опорных анкеров со стальным профилированным листом марки Н60-845-1,0 с «наклонными» выштамповками коэффициент условия работы принимали равным  $\gamma_s=0,4$ , в образцах без опорных анкеров с листом с выштамповками «елочка» при угле между осями ветвей  $90^\circ$  -  $\gamma_s=0,4$ , в образцах без опорных анкеров с листом с выштамповками «елочка» при угле между осями ветвей выштамповок  $150^\circ$  -  $\gamma_s=0,5$ . Образцы без опорных анкеров со стальным профилированным листом марки Н60-845-1,0 и образцы с листом марки Н80-674-1,0 с выштамповками «змейка» имели коэффициент условия работы профилированного листа соответственно  $\gamma_s = 0,6$  и  $\gamma_s = 0,5$ . Рекомендуемый в настоящее время для армирования сталежелезобетонных перекрытий стальной профилированный лист марки Н80А-674-1,0 без опорных анкеров имел коэффициент условия работы  $\gamma_s = 0,2$ .

Установка опорных анкеров по два в каждом гофре в образцах с гладким стальным профилированным листом марки Н60-845-1,0 повышала коэффициент условия работы профилированного листа до  $\gamma_s=0,6$ . В образцах с опорными анкерами с листом той же марки с «наклонными» выштамповками коэффициент условия работы  $\gamma_s = 0,6$ . В образцах с опорными анкерами с листом с выштамповками «елочка» при угле между осями ветвей  $90^\circ$  коэффициент условия работы  $\gamma_s = 0,7$ . В образцах с опорными анкерами с листом с выштамповками «елочка» при угле между осями ветвей  $150^\circ$  коэффициент условия работы  $\gamma_s = 0,7$ . В образцах с опорными анкерами со стальным профилированным листом с выштамповками «змейка» коэффициент условия работы  $\gamma_s = 0,8$ . Таким образом, наибольший коэффициент условия работы стального профилированного листа показали образцы с опорными анкерами со стальным профилированным листом с выштамповками «змейка».

Оценка результатов исследований работы на изгиб сталежелезобетонных перекрытий со стальными профилированными листами:

1. Присутствие выштамповок на стенках стальных профилированных листов повышало его сцепление с бетоном, тем самым повышало прочность и жесткость.

2. Установка в каждом гофре стального профилированного настила двух опорных вертикальных анкеров повышала эффективность его работы в качестве внешней рабочей арматуры (прочность увеличивалась на 17 - 50 %).

3. Эффективность работы выштамповок, оцениваемая по коэффициенту условия работы, зависела от ее вида и присутствия опорных анкеров. Чем меньше высота листа, тем эффективность выше.

4. Предельный допустимый сдвиг бетона относительно стального профилированного листа не должен превышать 0,3 мм.

Полученные значения коэффициента условия работы настила были использованы в СТО 0047-2005 [2].

#### Л и т е р а т у р а

1. *ТУ 67-452-82*. Профили стальные гнутые с трапециевидными гофрами и рифами. – Челябинск: ЧЗПСН. 1982. - 5 с.

2. *СТО 0047 - 2005*. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование. (02494680, 17523759). - М.: ЗАО ЦНИИПСК им. Мельникова, ЗАО «Хилти Дистрибьюши Лтд». 2005. - 65 с.

### EXPERIMENTAL RESEARCHES OF WORK OF EMBOSSEMENTS SUBJECTED TO THE BENDING

Rumyanceva I.A.

Experimental studies of bending images of composite slabs with reinforcement steel profiled decking on the walls of various embossments. Recommended values of factors for steel profiled sheeting with different types on the walls embossments as part of a composite slab needed in the calculation of overlap in strength by normal sections.

KEY WORDS: bending test, embossments, adhesion to concrete, profiled steel decking, composite slab, coefficient condition of work of the steel sheet.