ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 624.012:624.073

В.О. Алмазов, С.Н. Арутюнян

НИУ МГСУ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ПО ЕВРОКОДУ 4 И РОССИЙСКИМ РЕКОМЕНДАЦИЯМ

Выполнены расчеты сталежелезобетонных плит с профилированными листами типа SKH50Z-600-1,0 и SKH90Z-1000-1,0. Расчеты выполнены на основании отечественных рекомендаций и Еврокода 4. Расчетные методики сталежелезобетонных плит перекрытий в российских рекомендациях имеют различия и сходства. Они отличны от рекомендаций, содержащихся в Еврокоде 4. Сопоставление результатов, полученных на основании разных методик, в табличном и графическом виде позволило поставить вопрос о необходимости изучения сдвиговых усилий и деформаций на контакте профнастила и бетона, их влияния на прочность сталежелезобетонных плит с этими типами профнастила без применения специальных анкерных устройств.

Ключевые слова: сталежелезобетонная плита, профнастил, расчетные примеры, сравнительный анализ, Еврокод 4.

В мировой практике строительства стальные профилированные листы используются в самых разных целях [1]: как эффективные ограждающие конструкции, несущие элементы кровель, стеновых ограждений, и наконец, в качестве панелей заборных ограждений. В производстве железобетона профнастил может выполнять функции несъемной опалубки и рабочей арматуры. Так как плита перекрытия — одна из важнейших элементов зданий и сооружений, и ее стоимость составляет 25...30 % стоимости общестроительных работ [2], проектировщикам и исследователям необходимо искать резервы снижения материальных и трудовых затрат, обеспечивая высокое качество продукции [3—5]. Очевидно, что исследования таких эффективных конструкций, как сталежелезобетонные плиты перекрытия с профнастилом весьма актуальны.

На возможность использования стального профилированного листа как части железобетонного сечения обращено внимание еще в 1960 гг. Тогда же были предложены рифления боковых граней листа [6]. Исследования таких конструкций выполнены многими авторами [7—10]. В частности, на основе этих исследований в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были разработаны методы расчета и конструирования монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом [11] и рекомендации по их проектированию (НИИЖБ и ЦНИИпромзданий, 1987 г.)¹. Эти рекомендации созданы для двух типов профилированных настилов — Н80А-674-1,0 и Н80А-674-0,9, которые с 1980 г. выпускаются по

¹ Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом. М. : Стройиздат, 1987. 67 с.

ТУ 67-452—82² Челябинским заводом стального профилированного настила. Номенклатура этих двух типов профилированных настилов не охватывает в достаточной мере разные диапазоны нагрузок и пролетов. Поэтому, в дальнейшем научно-исследовательскими организациями металлургической промышленности были разработаны новые профили, на основе которых выполнены исследования сталежелезобетонных плит из профилированных настилов с различными видами выштамповок стенок [12, 13] и созданы рекомендации по проектированию сталежелезобетонных плит (СТО-047—2005³).

За рубежом многие авторы проводили экспериментальные исследования сталежелезобетонных плит перекрытий с разными бетонами [14], разными типами профнастилов [15] и, в частности, исследовали совместную работу профнастила с бетоном [16, 17].

В начале XXI в. многие государства постепенно присоединяются к системам международных стандартов. В частности Россия к концу 2015 г. завершает работу по оформлению присоединения к системе Еврокодов. Поскольку нормативные требования, методы определения сопротивления конструкций, другие вопросы проектирования не всегда совпадают с регламентируемыми национальными стандартами, необходимы исследования, результаты которых обеспечат гармонизацию подходов к решению проектных задач [18, 19].

Чтобы понять особенности разных рекомендаций и методик расчета, решены следующие задачи для двухпролетных неразрезных сталежелезобетонных плит с пролетом 3 м:

- расчет по рекомендациям Еврокода 4 (EN 4)⁴;
- расчет по российским рекомендациям¹;
- расчет по российским рекомендациям³;
- сравнительный анализ разных методик на основе этих расчетов.

Для выполнения расчетов сталежелезобетонных плит использованы профили типа СКН90Z-1000-1,0 (рис. 1) и СКН50Z-600-1,0 (рис. 2). Характеристики этих профилей, полученные с помощью моделирования в AutoCAD, приведены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики профилированных листов СКН90Z-1000-1,0 и СКН50Z-600-1,0

Тип профиля	Толщина материала, мм	Площадь сечения F , см ²	Масса 1 м длины, кг	Справочные величины на 1 м ширины рабочей поверхности			Центр тяжести, см		Масса 1 м ² , кг	Ширина заготовки, мм
				Момент инерции I_x , см ⁴	Момент сопро- тивления, см ³					
					W_{x1} , см ³	W_{x2} , см ³	y_{c1} , см	y_{c2} , см		
СКН90Z-1000-1,0	1,0	13,4	11,57	195,76	39,55	46,06	4,95	4,25	11,57	1400
СКН50Z-600-1,0	1,0	11,06	9,09	69,84	42,33	20,85	1,65	3,35	15,15	1100

² ТУ 67-452—82. Профили стальные гнутые с трапециевидными гофрами и рифами. Челябинск : ЧЗПСН, 1982. 30 с.

³ СТО 0047—2005. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование. М. : ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова, 2005. 65 с.

⁴ Eurocode 4: Design of steel and concrete structures. CEN. Brussel, 2004. 121 p.

Рис. 1. Стальные профилированные листы типа СКН90Z-1000-(0,6—1,2)⁵ Рис. 2. Стальные профилированные листы типа СКН50Z-600-(0,6—1,2)⁶

Расчетные нагрузки приняты согласно Руководству для проектировщиков к Еврокоду 4⁷. Толщина плиты задана равной 150 и 130 мм соответственно для профнастила типов СКН90Z-1000-1,0 и СКН50Z-600-1,0. Для плит приняты бетон C20/25 (B25) на тяжелых заполнителях класса с характеристиками Еврокода 1⁸ и СП 63.13330.2012⁹.

Согласно российским рекомендациям и рекомендациям Еврокода 4, расчет сталежелезобетонных плит выполнен для двух стадий работы: возведения и эксплуатации.

⁵ СТО 57398459-30—2008 (СТП/ПП/30). Профили стальные листовые гнутые для сталебетонных перекрытий. Рязань, 2008. 23 с.

⁶ СТО 57398459-001—2010. Профили стальные листовые гнутые для сталебетонных перекрытий. Технические условия. Рязань, 2010. 34 с.

⁷ Джонсон Р.П. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций / пер. с англ. под ред. В.О. Алмазова, А.Н. Топилина. М.: МГСУ, 2012. 413 с.

⁸ Eurocode 1: Action on structures. CEN. Brussel: 2004. 148 p.

⁹ СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 5201—2003. М.: Минрегион России, 2011. 148 с.

На стадии возведения несущей конструкцией является профнастил, который работает как тонкостенный изгибаемый элемент под действием нагрузки от собственной массы, массы свежесложенного бетона и временной нагрузки строительного периода (нагрузка от монтажного оборудования и людей).

Согласно российским рекомендациям прочность профнастила на 1 м ширины настила ограничивается в пролетном и опорном сечениях условиями

$$M/W_x \leq R_n; Q/(\Sigma th_n) \leq R_{ns}.$$

Расчетный момент сопротивления настила W_x определен в зависимости от уровня напряжений σ_n в сжатых полках гофров сечения.

При расчете в первом приближении момент сопротивления W_x принимается из табл. 1.

Если условие, ограничивающее величину напряжений в сжатой части сечения профнастила

$$\sigma_n = M/W_x \leq 34,3 \cdot 10^4 (t/b_i)^2$$

не удовлетворяется, расчетное значение момента сопротивления определяют методом последовательных приближений до тех пор, пока разница между последним и предыдущим приближениями σ_n не станет меньше 3 %. Отметим, что согласно российским рекомендациям, расчетный момент сопротивления настила можно определить только для определенного типа профнастила. В практическом проектировании вопрос решается с помощью комплекса AutoCAD по приведенной ширине плоских участков сжатых полок настила b_{red} :

$$b_{red} = \left(879 / \sqrt{\sigma_n} \right) \left[1 - 192t / \left(b_i \sqrt{\sigma_n} \right) \right] t.$$

Очевидно, что расчет предельного состояния по несущей способности профнастила по EN 4⁴ совпадает с расчетом по EN 1993-1-3¹⁰.

В СТО 0047—2005³ для расчета прочности профнастила учитывается коэффициент надежности по уровню ответственности γ_n .

При расчете профнастила в стадии возведения проверены предельное состояние по несущей способности (на изгиб и на вертикальный сдвиг) и прогиб [20]. Для расчета на изгиб использован жестко-пластический расчет, с ограничением взаимного поворота сечений в пластической стадии. Так как в рассматриваемом случае расчетный изгибающий момент M_{Ed} для обоих типов профнастила значительно меньше (28 и 35 %) значения сопротивления изгибу профнастила ($M_{pa} = R_{yd} + W_{pl}$), нет необходимости учитывать изгибающий момент в неразрезной плите, проверять предельный угол поворота. Пластический момент сопротивления W_{pl} для любой формы сечения, несимметричного относительно горизонтальной оси, равен $W_{pl} = S_b + S_n$, где S_b и S_n — статические моменты соответственно верхней и нижней частей сечения относительно центра тяжести сечения.

Прогиб настила определен исходя из требований к его жесткости как стальной опалубки в середине крайнего пролета. Отметим, что наибольший прогиб на этой стадии не должен превышать 1/180 пролета по Еврокоду и 1/200 — по российским рекомендациям. Расчет прогиба для профнастила выполнен под действием собственного веса и веса подвижной бетонной смеси

¹⁰ Eurocode 3: Design of steel structures. CEN. Brussel, 2004. 93 p.

без учета нагрузок согласно Еврокоду, а согласно российским рекомендациям монтажная нагрузка включается в расчетную нагрузку. Из-за указанных выше причин прогибы профнастилов, рассчитанные по разным методикам, отличаются друг от друга, и по требованиям одних рекомендаций прогиб может оказаться удовлетворительным, а по требованиям других — нет.

В стадии эксплуатации несущей конструкцией является железобетонная плита, в которой профнастил используется как рабочая арматура. В этой стадии учитывается действие полной расчетной нагрузки.

Согласно российским рекомендациям расчет сталежелезобетонной плиты выполнен как для однопролетной конструкции. Прочность нормальных сечений плиты определена по СП 63.13330.2012⁹ как для железобетонного изгибаемого элемента. Расчетная ширина принята равной ширине одного гофра. Так как $x < x_R$ и $x < h_f$ нейтральная ось расположена в полке сечения плиты (для обоих типов профнастила), поэтому прочность плиты проверена по первому случаю:

$$M_{span} \leq R_b b_f x (h_o - 0,5x) + R_{sc} A_s (h_o - a'); \quad x = (\gamma_n R_n A_n - R_{sc} A'_s) / R_b b_f.$$

Согласно СТО 0047—2005³ при расчете прочности нормального сечения учитывается расчетный момент, воспринимаемый профилированным настилом ($M_n = W_{min} R_y / \gamma_n$) при его работе в составе сталежелезобетонной плиты:

$$M_{span} - M_n \leq R_b b_f x (h_o - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_o - a').$$

В расчетах плиты на изгиб по Еврокоду пластическая нейтральная ось находится выше профнастила для обоих случаев, т.е. высота сжатого слоя бетона x_{pl} определяется из условия $0,85x_{pl} b f_{cd} = A_{pe} f_{yp,d}$, а пластический момент сопротивления — $M_{pl,Rd} = A_{pe} f_{yp,d} z$, где z — плечо внутренней пары сил.

В обеих плитах расчетный изгибающий момент несколько ниже пластического момента $M_{pl,Rd}$ поэтому не учитываются неразрезность и сопротивление изгибу плит в зоне отрицательных моментов.

Прочность наклонных сечений плиты согласно российским рекомендациям обеспечивается в наклонном сечении под углом 45° к продольной оси по условиям [21]:

$$Q \leq 0,3 \varphi_{w1} \varphi_{b1} R_b (b + b'/2) h_o; \quad Q \leq 0,17 R_n h_n 2t + Q_b,$$

где Q_b — поперечное усилие, воспринимаемое бетоном, определено по СП 63.13330.2012⁹.

В отечественных нормах принято сопротивление вертикальному сдвигу включать в действие поперечной силы. Несущая способность сталежелезобетонной плиты при действии вертикального сдвига определена в соответствии с требованиями EN 1992-1-1 (Еврокод 2)¹¹.

Подход Еврокода при определении сопротивления вертикальному сдвигу принципиально не отличается от отечественного, хотя методические отличия весьма существенны.

Для решения вопроса о сопротивлении горизонтальному сдвигу по требованию российских рекомендаций надо обеспечить анкеровку профилированного настила в месте наибольшего изгибающего момента и в четверти пролета

¹¹ Eurocode 2: Design of concrete structures. CEN. Brussel, 2004. 99 p.

с помощью вертикальных анкеров, приваренных к опорам плиты, с выштампованными анкерующими рифами. Расчеты анкеровки против сдвига профилированного настила в российских рекомендациях сильно не отличаются, но для выполнения расчетов необходимо применить коэффициент условий работы, который принят для исследуемых профнастилов $\gamma_n = 0,8$, а для обеспечения анкеровки в каждом гофре следует принять анкерные штыри по одному в каждом гофре.

Рекомендации Еврокода для расчета продольного сдвига основаны на методе $m-k$ и методе частичного объединения, которые основаны на результатах испытаний. Оба метода основаны на обработке опытов, в которых варьируется расстояние от опоры до точки приложения сосредоточенной силы, создающей горизонтальный сдвиг.

Исследования сталежелезобетонных плит на продольный сдвиг, выполненные многими авторами, показали, что во многих случаях зафиксирован отказ плиты по сцеплению сдвигом, даже если плита имела на концах анкерные рифления на стенках профлиста [22, 23]. Результаты этих исследований имели хорошее согласование с результатами, определенными по методам $m-k$ и частичного объединения.

При расчете методом $m-k$ принято не учитывать концевые анкерные устройства. Эмпирические коэффициенты m и k приняты на основе обработки других экспериментов ($m = 184 \text{ Н/мм}^2$ и $k = 0,0530 \text{ Н/мм}^2$). Расчетная несущая способность на горизонтальный сдвиг при использовании этого метода определена по формуле

$$V_{l,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left(\frac{mA_p}{bL_s} + k \right),$$

где γ_{vs} — коэффициент надежности для предельных состояний по несущей способности, который принят по национальному приложению равным 1,25; L_s — длина участка сдвига (четверти пролета или 0,73 м).

При расчете методом частичного объединения в любом сечении изгибающий момент M_{Ed} не должен превышать расчетную несущую способность M_{Rd} . Для дальнейших расчетов примем расчетную прочность при сдвиге на основе других экспериментов $\tau_{u,Rd} = 0,144 \text{ Н/мм}^2$.

Для проверки сталежелезобетонных плит по предельным состояниям по эксплуатационной пригодности выполнен расчет прогибов.

Согласно российским рекомендациям определение прогиба выполнено с учетом податливости анкерных связей f_{add} по формуле

$$f_m = f_{rc} + f_{add} \leq 1,150l,$$

где f_{rc} — прогиб железобетонной плиты перекрытия от действия нагрузок в стадии эксплуатации (без учета собственной массы) по СП 63.13330.2012⁹.

Прогиб по Еврокоду определен с помощью упругого расчета в соответствии с Eurocode 4⁴ без учета усадки бетона.

Величины предельных прогибов сталежелезобетонных плит, вычисленные по российским рекомендациям и по рекомендациям Еврокода, различаются. Отметим, что предельные значения прогибов в этих нормативах также отличаются друг от друга — прогиб не должен превышать 1/180 пролета по Еврокоду и 1/150 — по российским рекомендациям.

Все результаты расчетов описаны в табл. 2, а сопоставление их приведено на рис. 3—9.

Рис. 3. Прочность нормального сечения во время возведения, кН·м/м: 1 — для SKH50Z-600; 2 — для SKH90Z-1000

Из рис. 3 можно сделать вывод, что запас прочности стальных профилированных настилов SKH50Z-600 и SKH90Z-1000, определенный по Еврокоду, заметно больше, чем по руководствам НИИЖБ и ЦНИИПСК. Практически это означает, что при одинаковой нагрузке в период возведения перекрытия (одинаковой толщине железобетонной плиты) при использовании Еврокода количество временных промежуточных опор может быть меньшим. Это заключение совпадает с результатами сравнения прогибов (рис. 9). В конечном счете оказывается, что деформативность (величина прогибов) при изготовлении сталежелезобетонной плиты, определяемая по отечественными нормам, оказывается чрезмерной.

Согласно рис. 4 запас по вертикальному сдвигу стальных профилированных настилов SKH50Z-600 и SKH90Z-1000, определенный по Еврокоду, почти не отличается от запаса, определенного по руководству ЦНИИПСК. В обоих случаях он весьма велик: соответственно коэффициенты использования равны 0,08...0,09.

Рис. 4. Вертикальный сдвиг во время возведения, кН·м/м: 1 — для SKH50Z-600; 2 — для SKH90Z-1000

Табл. 2. Результаты сопоставительных расчетов

Тип профнастила	СКН50Z-600-1,0				СКН90Z-1000-1,0			
	по EN4	по рекомендациям НИИЖБ и ЦНИИПромзданий	по СТО 0047-2005	по EN4	по рекомендациям НИИЖБ и ЦНИИПромзданий	по СТО 0047-2005	по EN4	по СТО 0047-2005
В стадии возведения	Прочность в пролете	5,4 кН·м/м < 15,36 кН·м/м	3,33 кН·м/м < 5,01 кН·м/м	3,33 кН·м/м < 5,01 кН·м/м	4,96 кН·м < 17,97 кН·м	3,05 кН·м/м < 9,49 кН·м/м	3,05 кН·м/м < 9,49 кН·м/м	3,05 кН·м/м < 9,49 кН·м/м
	Прочность на опоре	—	5,94 кН·м/м > 5,45 кН·м/м не обеспечено	5,94 кН·м/м > 5,45 кН·м/м не обеспечено	—	5,46 кН·м/м < 7,25 кН·м/м	5,46 кН·м/м < 7,25 кН·м/м	5,46 кН·м/м < 7,25 кН·м/м
	Вертикальный сдвиг	7,55 кН/м < 100,2 кН/м	7,55 кН/м < 93,1 кН/м	7,55 кН/м < 93,1 кН/м	6,94 кН/м < 82,2 кН/м	6,94 кН/м < 77,28 кН/м	6,94 кН/м < 77,28 кН/м	—
	Прогиб (жесткость)	14,1 мм < 15,9 мм пролет/203 < пролет/180	24,5 мм > 14,3 мм пролет/117 > пролет/200 не обеспечено	24,5 мм > 14,3 мм пролет/117 > пролет/200 не обеспечено	5,2 мм < 15,9 мм пролет/550 < пролет/180	7 мм > 14,3 мм пролет/409 < пролет/200	7 мм > 14,3 мм пролет/409 < пролет/200	5 мм > 14,3 мм пролет/572 < пролет/200
В стадии эксплуатации	Прочность нормального сечения	15,9 кН·м/м < 27,0 кН·м/м	15,9 кН·м/м < 23,74 кН·м/м	15,9 кН·м/м < 23,74 кН·м/м	15,4 кН·м/м < 31,0 кН·м/м	15,4 кН·м/м < 20,47 кН·м/м	15,4 кН·м/м < 32,33 кН·м/м	15,4 кН·м/м < 32,33 кН·м/м
	Прочность наклонного сечения	—	22,2 кН/м < 301,33 кН/м	22,2 кН/м < 301,33 кН/м	—	21,5 кН/м < 142,72 кН/м	21,5 кН/м < 142,72 кН/м	21,5 кН/м < 142,72 кН/м
	Вертикальный сдвиг	22,2 кН/м < 153,5 кН/м	—	—	21,5 кН/м < 151,8 кН/м	—	—	—
	Прогиб (жесткость)	16,6 мм > 15,9 мм пролет/172 ≈ пролет/180	36,5 мм > 19 мм пролет/78 > пролет/150 не обеспечено	38,5 мм > 19 мм пролет/74 > пролет/150 не обеспечено	7,6 мм < 15,9 мм пролет/376 < пролет/180	27,1 мм > 19 мм пролет/105 > пролет/150 не обеспечено	27,5 мм > 19 мм пролет/104 > пролет/150 не обеспечено	27,5 мм > 19 мм пролет/104 > пролет/150 не обеспечено
	Продольный сдвиг методом $m-k$	22,2 кН/м < 29,8 кН/м	—	—	21,5 кН/м < 31,2 кН/м	—	—	—
	Продольный сдвиг методом частичного объединения	22,2 кН/м < 44,0 кН/м	—	—	21,5 кН/м < 38,3 кН/м	—	—	—
Прочность анкеровки	—	15,13 кН/м < 329,81 кН/м (в середине пролета) 11,35 кН/м < 173,25 кН/м (в четверти пролета)	15,13 кН/м < 329,81 кН/м (в середине пролета) 11,35 кН/м < 173,25 кН/м (в четверти пролета)	15,13 кН/м < 329,81 кН/м (в середине пролета) 11,35 кН/м < 173,25 кН/м (в четверти пролета)	—	14,68 кН/м < 60,72 кН/м (в середине пролета) 11,01 кН/м < 33,69 кН/м (в четверти пролета)	14,68 кН/м < 60,72 кН/м (в середине пролета) 11,01 кН/м < 33,69 кН/м (в четверти пролета)	14,68 кН/м < 60,72 кН/м (в середине пролета) 11,01 кН/м < 33,69 кН/м (в четверти пролета)

Качество сталежелезобетонной плиты, как и всякой железобетонной конструкции, при эксплуатации (по первой и второй группам) оценивается по нескольким параметрам. При этом оказывается, что практические результаты проектирования неоднозначны. Так, согласно рис. 5, коэффициент использования несущей способности для плиты на основе СКН50Z-600 по нормальному сечению согласно Еврокоду 4 равен 0,59, руководству НИИЖБ — 0,67 и СТО-047 — 0,53. Коэффициент использования несущей способности для плиты на основе СКН90Z-1000 по нормальному сечению согласно Еврокоду 4 равен 0,50, руководству НИИЖБ — 0,75 и СТО-047 — 0,48.

Рис. 5. Прочность нормального сечения во время эксплуатации, кН·м/м: 1 — для СКН50Z-600; 2 — для СКН90Z-1000

Еврокод 4 контролирует вертикальный и продольный сдвиги, являющиеся ортогональными компонентами усилий в наклонных сечениях. Руководство НИИЖБ и СТО-047 контролируют прочность сжатого бетона и прочность наклонного сечения. Руководство НИИЖБ и СТО-047, кроме того, контролируют прочность анкеровки (сцепление профнастила с бетоном плиты) в середине и в четверти ее пролета.

На рис. 6 для плиты на основе профнастила СКН50Z-600 коэффициент использования сопротивления продольному сдвигу, полученного по методу $m-k$, равен 0,74, а по методу частичного объединения — 0,5. Коэффициенты использования прочности анкеровки согласно руководству НИИЖБ и СТО-047 посередине и в четверти пролета равны соответственно 0,05 и 0,07.

Рис. 6. Продольный сдвиг или прочность анкеровки во время эксплуатации кН/м: 1 — для СКН50Z-600; 2 — для СКН90Z-1000

На рис. 7 сравниваются результаты определения запасов прочности по вертикальному сдвигу на основании расчетов. По Еврокоду 4 для плиты с СКН50Z-600 коэффициент использования — 0,14, по руководству НИИЖБ и СТО-047 — 0,16; для плиты с СКН90Z-1000 коэффициент использования по Еврокоду 4 — 0,14, по руководству НИИЖБ и СТО-047 он равен 0,34.

Рис. 7. Прочность наклонного сечения или вертикальный сдвиг во время эксплуатации, кН/м: 1 — для СКН50Z-600; 2 — для СКН90Z-1000

Для возможности сравнения прочности наклонного сечения по разным расчетным методикам сопоставим вертикальный и продольный сдвиги с прочностью наклонного сечения, расположенного под 45° к продольной оси. Для этого рассматриваем вертикальный и продольный сдвиги как катеты, а прочность наклонного сечения как гипотенузу.

На рис. 8 сравниваются результаты определения запасов прочности по наклонному сечению на основании расчетов. По Еврокоду 4 для плиты с СКН50Z-600 коэффициент использования — 0,14, по руководству НИИЖБ и СТО-047 — 0,16, для плиты с СКН90Z-1000 коэффициент использования по Еврокоду 4 — 0,14, по руководству НИИЖБ и СТО-047 он равен 0,34.

Рис. 8. Сопротивление по наклонному сечению и сдвигам вдоль и поперек оси плиты: 1 — прочность наклонного сечения, полученная на основе расчета продольного сдвига по EN методом $m-k$; 2 — то же методом частичного объединения; 3 — проекция 1; 4 — проекция 2; 5 — прочность наклонного сечения по НИИЖБ — ЦНИИпромзданий и СТО-047-2005; 6 — действующая поперечная сила; A_p — вертикальный сдвиг по EN; B_{p1} — продольный сдвиг по EN методом $m-k$; B_{p2} — продольный сдвиг по EN методом частичного объединения

Сравнение расчетных и предельных прогибов и в стадии возведения, и в стадии эксплуатации демонстрирует недостаточную жесткость плит, вычисленную как на основе расчетов по Еврокоду 4, так и по отечественным руководствам НИИЖБ и СТО-047 (рис. 9).

Рис. 9. Прогиб, мм: 1 — для СКН-600; 2 — для СКН-1000

Выводы. Различие применяемых в Еврокоде 4 и отечественных нормах методов оценки несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации требует внимательного отношения к получаемым результатам;

сравнительный анализ прочности по нормальному сечению стале-железобетонных плит на основе профнастилов типа СКН90Z-1000-1,0 и СКН50Z-600-1,0 показал, что независимо от метода расчета несущая способность плит по нормальному сечению при эксплуатации обеспечивается;

расчеты прочности по наклонному сечению (по отечественным нормам) и на вертикальный сдвиг (по Еврокоду) продемонстрировали безопасность плит независимо от метода расчета;

сравнительный анализ расчетов на действие горизонтального сдвига (методом $m-k$ и методом частичного объединения по Еврокоду), а также проверки достаточности анкеровки профнастила (по отечественным рекомендациям) показал: безопасность плит обеспечивается в обоих случаях, но вопрос требует дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Алмазов В.О., Амирасланов З.А. Применение сталебетона в конструкциях морских нефтегазопромысловых сооружений // Бурение и нефть. 2008. № 7—8. С. 15—18.
2. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 23—25.
3. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Рациональное распределение жесткости плит по высоте здания с учетом работы перекрытия на сдвиг // Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 84—90.
4. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8—10.
5. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5 (49). С. 15—26.
6. Петров И.А., Рабинович Р.И., Наргизян Э.А. Монолитные перекрытия с внешней арматурой из стального профилированного настила // Промышленное строительство. 1981. № 7. С. 11—13.

7. Додонов М.И. Прочность и перемещения монолитных железобетонных плит перекрытий со стальным профилированным настилом // Бетон и железобетон. 1992. № 8. С. 19—21.
8. Воронков Р.В., Багатурия Ф.И. Исследование железобетонных перекрытий с внешней профилированной арматурой // Бетон и железобетон. 1977. № 7. С. 11—14.
9. Боярский А.В. Эффективный профилированный настил для армирования композитных плит // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2007. № 6. С. 28—29.
10. Колбасин В.Г. Плиты с арматурой из профилированного стального настила // Бетон и железобетон. 1980. № 1. С. 11—13.
11. Васильев А.П., Горшкова В.М., Лазовский Д.Н., Рабинович Р.И. Методика расчета монолитной плиты перекрытия со стальным профилированным настилом // Бетон и железобетон. 1987. № 6. С. 10—12.
12. Айрумян Э.Л., Румянцева И.А. Армирование монолитной железобетонной плиты перекрытия стальным профилированным настилом // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 4. С. 25—27.
13. Айрумян Э.Л., Боярский А.В. Исследования работы монолитной железобетонной плиты по профилированному стальному настилу при поперечном изгибе // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10. С. 30—31.
14. Mohammed B. Structural behavior and m-k value of composite slab utilizing concrete containing crumb rubber // Journal of Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Pp. 1214—1221.
15. Cifuentes H., Medina F. Experimental study on shear bond behavior of composite slabs according to Eurocode 4 // Journal of Constructional Steel Research. 2013. Vol. 82. Pp. 99—110.
16. Marimuthu V., Seetharaman S., Jayachandran S.A., Chellappan A., Bandyopadhyay T.K., Dutta D. Experimental studies on composite deck slabs to determine the shear-bond characteristic (m-k) values of the embossed profiled sheet // Journal of Constructional Steel Research. 2007. Vol. 63. No. 6. Pp. 791—803.
17. Porter M.L., Ekberg C.E., Greimann L.F., Elleby H.A. Shear bond analysis of steel-deck-reinforced slabs // ASCE Journal of the Structural Division. 1976. Vol. 102. No. 12. Pp. 2255—2268.
18. Алмазов В.О. Гармонизация строительных норм: необходимость и возможности // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 1. С. 51—54.
19. Алмазов В.О. Проблемы использования еврокодов в России // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 36—38.
20. Гульванесян Х., Трефол Э., Брайт Н., Букер О., Гарднер М., Парк Дж., Дэвидсон Дж.Б., Меттем К., Уотт П., Робертс Д., Бонд Э., Харрис Э., Георгопулос К., Фрайд Э., Алмазов В.О., Плотников А.И., Данилов А.И., Знаменский В.В., Орешкин Д.В., Топилин А.Н. Выдержки из Строительных Еврокодов: пособие для студентов строительной специальности / пер. с англ. ; под общ. ред. О.В. Алмазова. М. : МГСУ, 2011. 724 с.
21. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М. : Изд-во АСВ, 2010. 352 с.
22. Namdeo A.H., Laxmikant M.G., Girish N.R. Design of composite slabs with profiled steel decking: a comparison between experimental and analytical studies // International Journal of Advanced Structural Engineering. 2012. Vol. 4. No. 1. Режим доступа: <http://www.advancedstructeng.com/content/pdf/2008-6695-4-1.pdf>. Дата обращения: 12.05.2015.
23. Calixto J.M., Lavall A.C., Melo C.B., Pimenta R.J., Monteiro R.C. Behavior and strength of composite slabs with ribbed decking // Journal of Constructional Steel Research. 1998. Vol. 46. No. 1—3. Pp. 211—212.

Поступила в редакцию в июле 2015 г.

Об авторах: **Алмазов Владлен Ованесович** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)**;

Арутюнян Севак Норикович — аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, sevak.harutyunyan@mail.ru.

Для цитирования: Алмазов В.О., Арутюнян С.Н. Проектирование сталежелезобетонных плит перекрытий по Еврокоду 4 и российским рекомендациям // Вестник МГСУ. 2016. № 8. С. 51—65.

V.O. Almazov, S.N. Harutyunyan

DESIGN OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO EUROCODE 4 AND RUSSIAN RECOMMENDATIONS

In the world construction practice steel profiled sheeting is used for different aims. While producing reinforced concrete the profiled sheeting may act as a permanent form or working reinforcement. As far as a floor slab is one of the most important elements of buildings and structures, its price may be 25...30 % of the general construction price, designers and researchers should look for the ways to reduce material and labor costs providing high quality of the production. It is obvious that investigation of such efficient constructions as composite reinforced slabs with profiled sheeting are of current interest.

On the basis of national recommendations and the recommendations of Eurocode 4 the calculation of steel-concrete composite slabs with profiled sheet type CKH50Z-600-1.0 and CKH90Z-1000-1.0 were carried out. Calculation methods for steel-concrete composite slabs in Russian and European recommendations have their differences and similarities. The comparison of the results received on the basis of different methodologies in tabular and graphical form allowed to raise the question about the necessity of studying shear forces and deformations at the contact areas of profiled sheeting and concrete, their impact on the strength of steel-concrete composite slabs with these types of decking without the use of special anchorage devices.

Key words: steel-concrete composite slab, profiled sheeting, computational examples, comparative analysis, Eurocode 4.

References

1. Almazov V.O., Amiraslanov Z.A. Primenenie stalebetona v konstruktsiyakh morskikh neftegazopromyslovyykh sooruzheniy [Application of Steel-Concrete in the Designs of Offshore Oil And Gas Field Constructions]. *Burenie i nef't* [Drilling and Oil]. 2008, no. 7—8, pp. 15—18. (In Russian)
2. Tamrazyan A.G., Filimonova E.A. Metod poiska rezerva nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh plit perekrytiy [Method of Search for Reserve of Bearing Capacity of Reinforced Concrete Slabs of Floors]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2011, no. 3, pp. 23—25. (In Russian)
3. Tamrazyan A.G., Filimonova E.A. Ratsional'noe raspredelenie zhestkosti plit po vysote zdaniya s uchetom raboty perekrytiya na sdvig [Rational Distribution of Slab Stiffness along the Height of Building with Account for Shear Deformation]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 11, pp. 84—90. (In Russian)
4. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Obespechenie kachestva sbornykh zhelezobetonnykh konstruktsiy na stadii izgotovleniya [Providing the Quality of Prefabricated Ferroconcrete Structures on the Production Stage]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2001, no. 3, pp. 8—10. (In Russian)

5. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Uchet izmeneniy raschetnoy skhemy pri analize raboty konstruktsey [Account for the Changes in the Calculated Scheme during the Analysis of Structural Behavior]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2014, no. 5 (49), pp. 15—26. (In Russian)
6. Petrov I.A., Rabinovich R.I., Nargizyan E.A. Monolitnye perekrytiya s vneshney armaturoy iz stal'nogo profilirovannogo nastila [Monolithic Overlaps with External Fittings of Profiled Sheetting]. *Promyshlennoe stroitel'stvo* [Industrial Engineering]. 1981, no. 7, pp. 11—13. (In Russian)
7. Dodonov M.I. Prochnost' i peremeshcheniya monolitnykh zhelezobetonnykh plit perekrytiy so stal'nym profilirovannym nastilom [Strength and Movement of Monolithic Reinforced Concrete Slabs of Overlaps with Steel Profiled Sheetting]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1992, no. 8, pp. 19—21. (In Russian)
8. Voronkov R.V., Bagaturiya F.I. Issledovanie zhelezobetonnykh perekrytiy s vneshney profilirovannoy armaturoy [Study of Ferroconcrete Overlaps with External Profiled Fittings]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1977, no. 7, pp. 11—14. (In Russian)
9. Boyarskiy A.V. Effektivnyy profilirovannyi nastil dlya armirovaniya kompozitnykh plit [Effective Profiled Sheetting for Reinforcement of Composite Slabs]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century]. 2007, no. 6, pp. 28—29. (In Russian)
10. Kolbasin V.G. Plity s armaturoy iz profilirovannogo stal'nogo nastila [Slabs with Fittings of Profiled Steel Sheetting]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1980, no. 1, pp. 11—13. (In Russian)
11. Vasil'ev A.P., Gorshkova V.M., Lazovskiy D.N., Rabinovich R.I. Metodika rascheta monolitnoy plity perekrytiya so stal'nym profilirovannym nastilom [Calculation Methods of Monolithic Slabs with Profiled Steel Sheetting]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1987, no. 6, pp. 10—12. (In Russian)
12. Ayrumyan E.L., Rummyantseva I.A. Armirovaniye monolitnoy zhelezobetonnoy plity perekrytiya stal'nym profilirovannym nastilom [Reinforcement of Monolithic Ferroconcrete Slabs with Profiled Steel Sheetting]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2007, no. 4, pp. 25—27. (In Russian)
13. Ayrumyan E.L., Boyarskiy A.V. Issledovaniya raboty monolitnoy zhelezobetonnoy plity po profilirovannomu stal'nomu nastilu pri poperechnom izgibe [Research of Monolithic Ferroconcrete Slab Operation on Profiled Steel Sheetting at Transverse Bending]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2007, no. 10, pp. 30—31. (In Russian)
14. Mohammed B. Structural Behavior and M-K Value of Composite Slab Utilizing Concrete Containing Crumb Rubber. *Journal of Construction and Building Materials*. 2010, vol. 24, no. 7, pp. 1214—1221. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.018>.
15. Cifuentes H., Medina F. Experimental Study on Shear Bond Behavior of Composite Slabs According to Eurocode 4. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013, vol. 82, pp. 99—110. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.12.009>.
16. Marimuthu V., Seetharaman S., Jayachandran S.A., Chellappan A., Bandyopadhyay T.K., Dutta D. Experimental Studies on Composite Deck Slabs to Determine the Shear-Bond Characteristic (M-K) Values of the Embossed Profiled Sheet. *Journal of Constructional Steel Research*. 2007, vol. 63, no. 6, pp. 791—803. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.07.009>.
17. Porter M.L., Ekberg C.E., Greimann L.F., Elleby H.A. Shear Bond Analysis of Steel-Deck-Reinforced Slabs. *ASCE Journal of the Structural Division*. 1976, vol. 102, no. 12, pp. 2255—2268.
18. Almazov V.O. Garmonizatsiya stroitel'nykh norm: neobkhodimost' i vozmozhnosti [Harmonization of Building Norms: Necessity and Opportunities]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2007, no. 1, pp. 51—54. (In Russian)
19. Almazov V.O. Problemy ispol'zovaniya evrokodov v Rossii Rossii [The Problems of Using Eurocodes in Russia]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2012, no. 7, pp. 36—38. (In Russian)
20. Gul'vanesyan Kh., Trefol E., Brayt N., Buker O., Gardner M., Park Dzh., Davidson Dzh.B., Mettem K., Uott P., Roberts D., Bond E., Kharris E., Georgopulos K., Frayd E., Almazov V.O., Plotnikov A.I., Danilov A.I., Znamenskiy V.V., Oreshkin D.V., Topilin A.N. *Vyderzhki*

iz Stroitel'nykh Evrokodov: posobie dlya studentov stroitel'noy spetsial'nosti [Excerpts from Building Eurocodes: Tutorial for Students of Building Specialty]. Transl. from English. Moscow, MGSU Publ., 2011, 724 p. (In Russian)

21. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. *Raschet zhelezobetonnykh konstruktsey iz tyazhelogo betona po prochnosti, treshchinostoykosti i deformatsiyam* [Strength, Crack Resistance and Strains Calculation of Ferroconcrete Structures of Heavy Concrete]. Moscow, ASV Publ., 2010, 352 p. (In Russian)

22. Namdeo A.H., Laxmikant M.G., Girish N.R. Design of Composite Slabs with Profiled Steel Decking: A Comparison between Experimental and Analytical Studies. *International Journal of Advanced Structural Engineering*. 2012, vol. 4, no. 1. Available at: <http://www.advancedstructeng.com/content/pdf/2008-6695-4-1.pdf>. Date of access: 12.05.2015. 10.1186/2008-6695-3-1

23. Calixto J.M., Lavall A.C., Melo C.B., Pimenta R.J., Monteiro R.C. Behavior and Strength of Composite Slabs with Ribbed Decking. *Journal of Constructional Steel Research*. 1998, vol. 46, no. 1—3, pp. 211—212.

About the authors: **Almazov Vladlen Ovanesovich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**;

Harutyunyan Sevak Norikovich — postgraduate student, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; sevak.harutyunyan@mail.ru.

For citation: Almazov V.O., Harutyunyan S.N. *Proektirovanie stalezhelezobetonnykh plit perekrytiy po Evrokodu 4 i rossiyskim rekomendatsiyam* [Design of Composite Reinforced Concrete Slabs according to Eurocode 4 and Russian Recommendations]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 8, pp. 51—65. (In Russian)