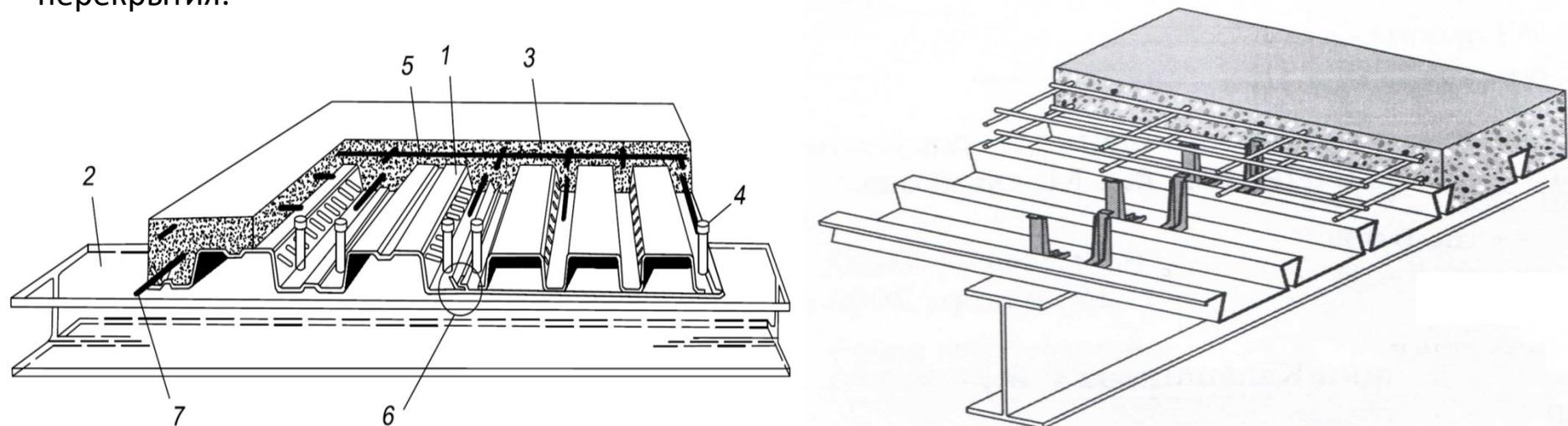


Область применения

В мировой практике высотного строительства в зданиях со стальным каркасом междуэтажные перекрытия представляют собой, как правило, сталежелезобетонную конструкцию, в которой профилированный стальной настил используется в качестве несъемной опалубки и при определенных условиях может выполнять функции внешней рабочей арматуры монолитной плиты перекрытия.



Сталежелезобетонное перекрытие с плитой по профилированному настилу

- 1 — стальной профилированный настил с рифлеными стенками гофров;
- 2 — элемент балочной клетки; 3 — монолитный бетон плиты;
- 4 — стержневой (угловой) упор; 5 — сетка противоусадочного армирования;
- 6 — соединение гофрированных профилей между собой; 7 — рабочая арматура.

Стальной профилированный настил допускается применять в качестве внешней арматуры при следующих условиях:

- В неагрессивной или слабоагрессивной среде по СП 28-13330;
- При температуре не выше 40 С и не ниже минус 50 С;
- При влажности не более 60%;
- При контакте с бетонными смесями без добавления хлористого калия или других хлоридов;
- При пределе огнестойкости перекрытия не более 30 мин без дополнительной огнезащиты настила;
- При динамических воздействиях с коэффициентом асимметрии цикла $\rho > 0,7$;
- При обеспечении надежного сцепления настила с бетоном плиты с помощью местных выштамповок, наносимых на профили настила при прокате;
- При установке специальных анкеров, прикрепленных к стальным балкам перекрытия через настил;

Нормативные документы

СП 266.1325800.2016 “Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования” Москва 2017 , введен 01.07.2017 г.

ГОСТ Р 55738-2013 “Шпильки и керамические кольца для сварки”

EUROCODE 4. Part 1. Composite steel construction. CEN TC250/SC4.1990.

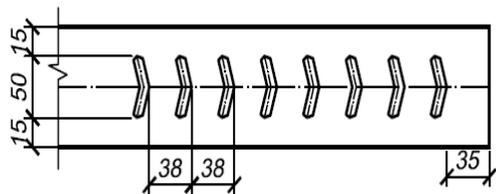
СТО 57398459-002-2011 “Перекрытия железобетонные монолитные с несъемной опалубкой из профилированного листа. Общие технические требования. Проектирование”. ГК “Стальные конструкции”.

СТО 0047-2005 “Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу.

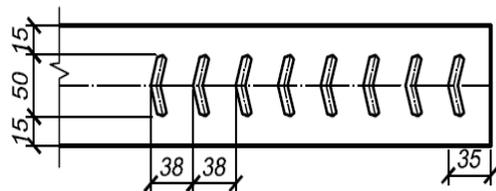
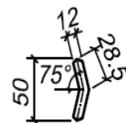
Материалы

1. Для сталежелезобетонных перекрытий следует использовать тяжелые бетоны плотностью от 2200 до 2500 кг/м³ и мелкозернистые бетоны средней плотностью от 1800 до 2200 кг/м³.
2. Арматуру для монолитной плиты перекрытия следует принимать согласно СП 63.13330.
3. Профилированный настил для сталежелезобетонных плит выполняется из листовых гнутых профилей с трапециевидными гофрами открытого или закрытого типа. Профили должны иметь часто расположенные стенки гофров при соотношении b_r/S_n не более 0,6. Профили, выполняющие функции рабочей арматуры плиты, должны быть способны передавать горизонтальные сдвигающие усилия по контактной поверхности с бетоном. Совместная работа профилей (настила в целом) с бетоном при работе плиты на поперечный изгиб должна обеспечиваться благодаря наличию выштамповок в виде местных вмятин или выпуклостей (рифов) глубиной a_{rif} от 3 до 5 мм на стенках гофров. Для изготовления профилированного настила применяется рулонная сталь для холодного профилирования по ГОСТ 14918 и ГОСТ Р 52246. Толщина стали для профилей от 0,7 до 1,5 мм, предел текучести стали от 230 до 350 Н/мм² при относительном удлинении от 16 до 22 %.

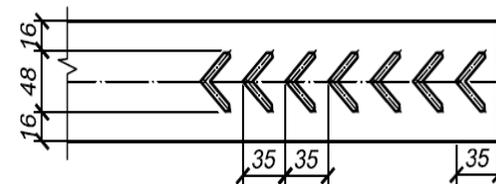
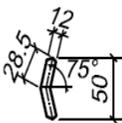
Типоразмеры рифов на стенках гофров профилированного настила для армирования сталежелезобетонных плит



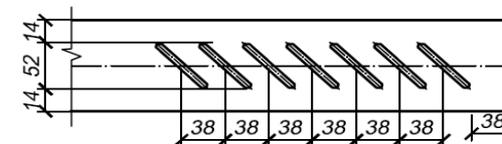
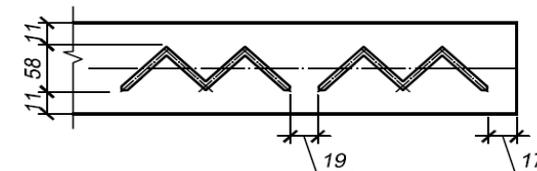
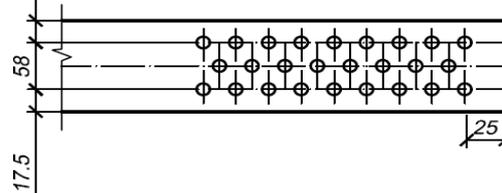
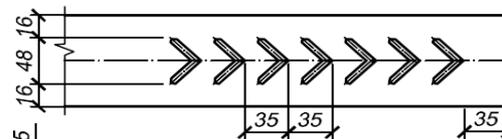
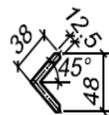
"елочка 75С"



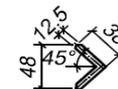
"елочка 75Н"



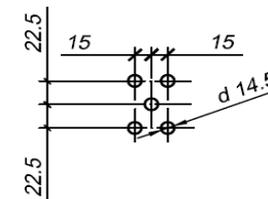
"елочка 45Н"



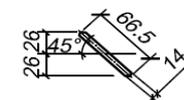
"елочка 45С"



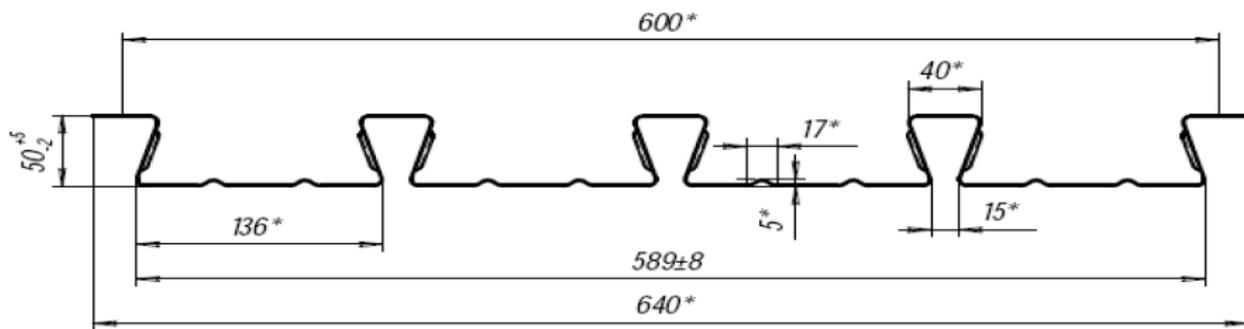
"круглые"



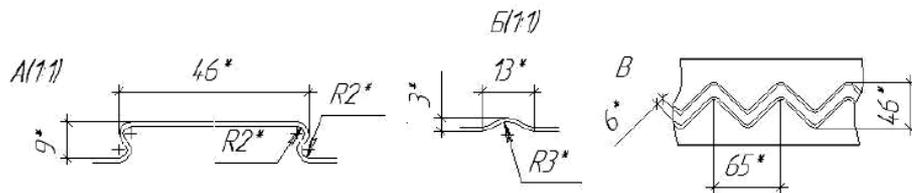
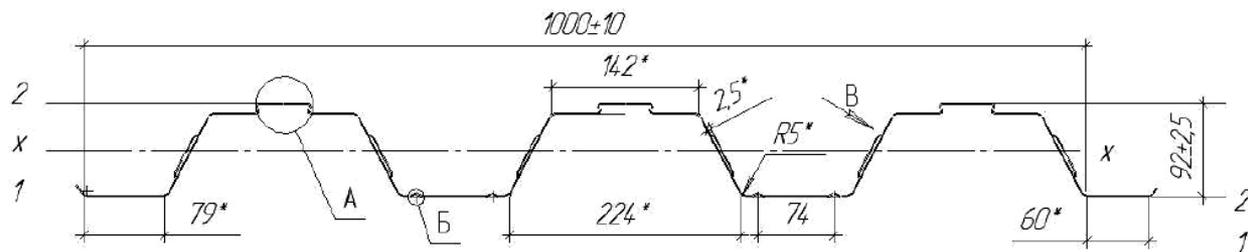
"наклонные"



Профили настила отечественного производства для армирования плиты перекрытия



* Размер для справок



* Размер для справок
1-1 Зона растянутых полок
2-2 Зона сжатых полок

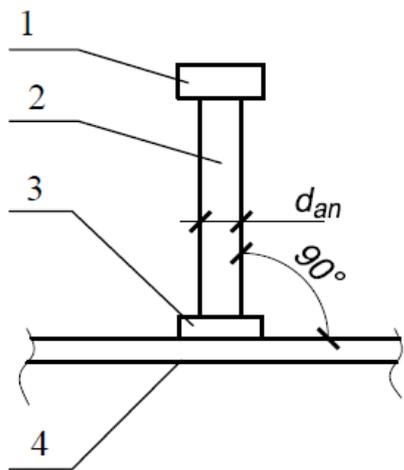
Устройства для повышения сцепления настила с бетоном

Совместная деформация (работа) профилированного настила с бетоном должна обеспечиваться с помощью устройств для механического сцепления: гибких или жестких упоров, закрепленных на опорах по концам настила или деформированием гофров на концах настила.

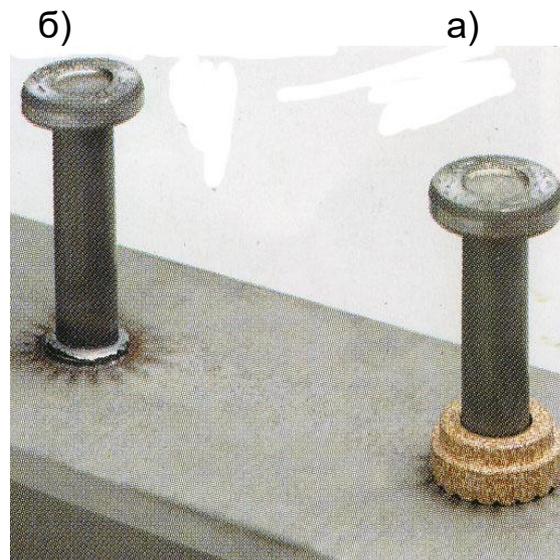
Наиболее эффективными устройствами для обеспечения совместной деформации (работы) настила с бетоном являются упоры двух типов – стержневые (гибкие упоры) или уголковые (жесткие упоры).

Стержневые упоры (стад-болты) выполняют в виде калиброванных стальных стержней диаметром от 10 до 25 мм с круглой головкой, приваренных через профилированный лист к стальной опорной балке плиты. Предел текучести стали стад-болтов – не менее 350 Н/мм², относительное удлинение при разрыве – не менее 20%.

Упоры в виде шпилек с головкой выполняют по ГОСТ Р 55738-2013.



1 — головка анкера; 2 — анкер;
3 — сварка; 4 — опорная балка
Стержневой упор (стад-болт)



а) во время сварки б) после сварки

Размеры шпилек-упоров по ГОСТ Р 55738 приводятся в таблице
 Таблица. Размеры шпилек-упоров (в мм)

Диаметр стержня, d	Размеры головки		Длина шпильки			
	диаметр, d ₃	толщина h ₃	до сварки, l ₁		после сварки, l ₂	
			max	min	max	min
10	19	7	178	53	175	50
13	25	8	203	53	200	50
16	32	8	254	54	200	50
19	32	10	305	55	250	50
22	35	10	305	55	300	50
25	41	12	305	80	300	75

Стандартная длина шпильки после сварки снижается на 3-5 мм в зависимости от диаметра стержня и принята от 50 до 300 мм с интервалом 25 мм.

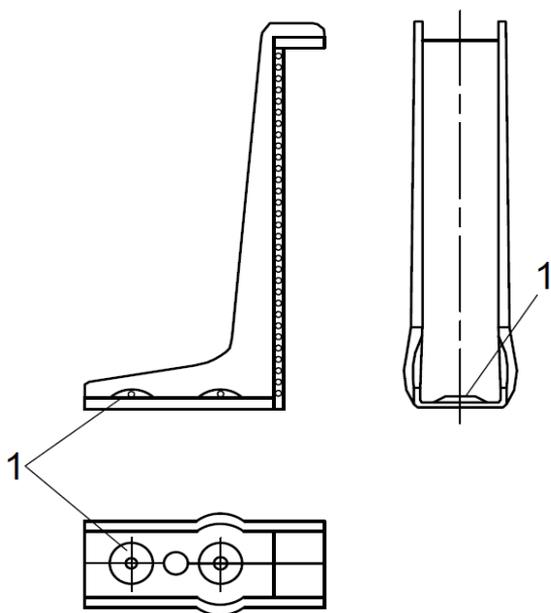
Модели сварочных пистолетов серии CLASSIC



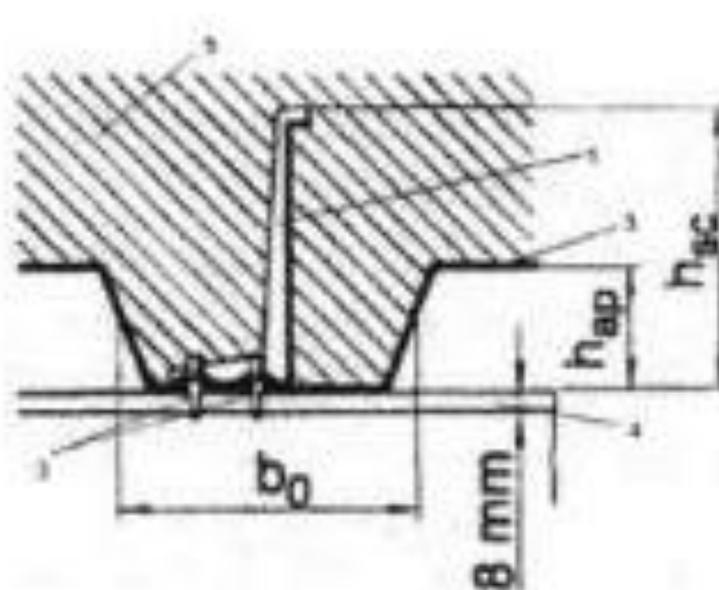
Угловые анкерные упоры

Угловые (жесткие) упоры представляют холодноформованный стальной профиль Z-образного сечения, закрепленный одной полкой к верхнему поясу опорной балки настила с помощью дюбелей.

Материал упоров – оцинкованная сталь толщиной от 2 до 2,5 мм с пределом текучести от 270 до 350 МПа.



1 – отверстие для установки дюбеля
Пример углового анкерного упора



Расположение упора вдоль оси балки

Расчет сталежелезобетонных конструкций на поперечный изгиб

Расчет плиты на стадии бетонирования

До набора свежееуложенным бетоном плиты кубиковой прочности равной 10 МПа настил следует рассчитывать на прочность и жесткость как стальной тонкостенный изгибаемый элемент, работающий на нагрузки, приведенные в таблице.

Таблица

Характеристика	Нормативная нагрузка на кПа	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f
Нагрузка от собственного веса настила	по ТУ или ГОСТ	1,05
Нагрузка от веса свежееуложенной бетонной смеси	по приведенному сечению плиты	1,2
Монтажная нагрузка:		
при выгрузке бетонной смеси из бадей вместимостью до 0,8 м ³	2,5	1,3
при подаче бетонной смеси бетоноводами равномерно в пределах настила	0,5	1,3

При прогибе настила более 1/10 высоты сечения плиты следует учитывать дополнительную нагрузку от собственного веса свежееуложенного бетона, определяемую по формуле:

$$\Delta q_b = 0,7 \cdot \gamma \cdot f_n,$$

где f_n – прогиб настила от нормативной нагрузки q_b .

На стадии бетонирования плиты прочность стального профилированного настила в надпорных и пролетных сечениях проверяют по формуле:

$$\frac{M}{W_{min}} \leq R_y$$

где M – изгибающий момент от расчетных нагрузок;

W_{min} – минимальный расчетный момент сопротивления профиля настила по государственным стандартам и техническим условиям на профилированные листы.

Проверка устойчивости стенок трапециевидных гофров настила при укладке бетонной смеси проверяется по формуле:

$$Q \geq 0,5 \cdot k_1 \cdot q_p \cdot l \cdot S_n \cdot \gamma_{M1},$$

Поперечная критическая сила на промежуточной опоре неразрезного настила, соответствующая потере местной устойчивости одной из стенок его гофра, определяется по формуле:

$$Q = \alpha \cdot t_n^2 \cdot \sqrt{R_{yn} E_{st}} \cdot \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{r_n}{t_n}}\right) \cdot \left(0,5 + \sqrt{\frac{0,02 l_a}{t_n}}\right) \cdot \left(2,4 + \left(\frac{\theta}{90}\right)^2\right),$$

где $\alpha = 0,15$ – коэффициент для промежуточных опор;

r_n – радиусгиба в гофра;

l_a – расчетная ширина опоры настила;

θ – угол наклона стенки гофра в градусах.

Расчетные характеристики профилей настила

Приведенные геометрические характеристики сечения профилей настила (моменты инерции и сопротивления) для его расчета на стадии бетонирования плиты должны определяться с учетом следующих допущений:

- форма поперечного сечения гофров при действии нагрузки не изменяется;
- гофры настила работают как тонкостенные балки трапециевидного сечения в упругой стадии;
- нормальные напряжения по высоте поперечного сечения стенок гофров распределяются линейно;
- нормальные напряжения по ширине продольно сжатых полок до местной потери устойчивости, а также по ширине растянутых полок распределяются равномерно;
- после местной потери устойчивости продольно сжатых полок нормальные напряжения в них распределяются неравномерно, возрастая от середины полок к продольным краям. При расчете приведенных характеристик профиля в закритической стадии должна учитываться редукция участков профиля и снижение рабочей площади сечения профиля в целом.

Расчет прогиба настила

Прогиб профилированного настила не должен превышать 1/200 пролета:

$$f_n = k_2 \cdot \frac{q_n \cdot l^4}{E_{st} \cdot I_{n,x}} \leq \frac{1}{200} l ,$$

где f_n – максимальный прогиб настила от нормативных нагрузок;

k_2 – коэффициент, определяемый в зависимости от схемы раскладки настила и принимаемый:

$k_2 = 0,013$ для однопролетного настила;

$k_2 = 0,0091$ для двухпролетного настила;

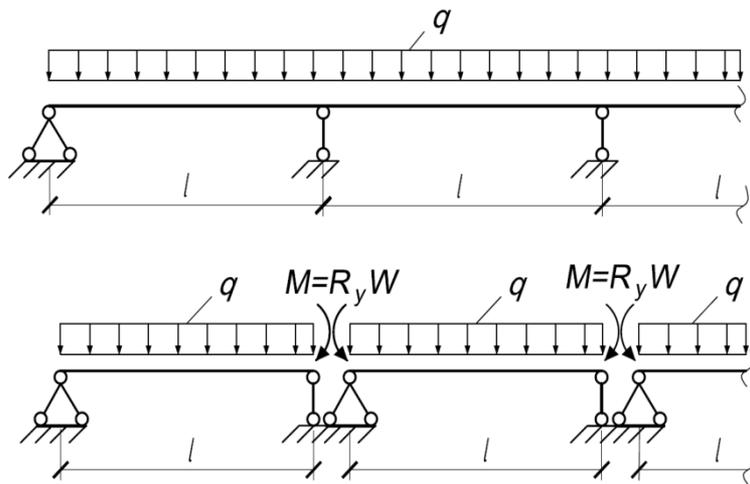
$k_2 = 0,0088$ для настила с числом пролетов три и более;

q_n – нормативная равномерно-распределенная нагрузка на настил;

$I_{n,x}$ – момент инерции сечения профиля на 1 м ширины настила (по ТУ или ГОСТ на профилированные листы).

Расчет плиты на стадии эксплуатации

На стадии эксплуатации плита рассчитывается как железобетонная конструкция с внешней рабочей арматурой из стального профилированного настила и с гибкой стержневой арматурой. Нерезная железобетонная плита, армированная профилированным настилом, при отсутствии расчетной гибкой арматуры над опорами, рассчитывается как однопролетная конструкция. При этом опорные моменты, воспринимаемые настилом на промежуточных опорах, учитываются как внешняя нагрузка без учета работы бетона.



Расчетная схема плиты при отсутствии гибкой арматуры в надопорной зоне

Расчет по первой группе предельных состояний включает проверку по трем критериям прочности:

- по нормальным сечениям (при условии обеспечения сцепления настила с бетоном);
- по наклонным сечениям;
- по условию обеспечения сцепления настила с бетоном.

Расчет прочности плиты по нормальным сечениям выполняется при следующих допущениях:

- сопротивление растяжению бетона равно нулю;
- напряжения в настиле равномерно распределены по высоте и не превышают расчетное сопротивление листовой стали R_y ;
- коэффициент условия работы γ_c принимается в зависимости от типа настила по результатам испытаний.

При подборе сечений плиты высота ее сжатой зоны x должна удовлетворять условию

$$x \leq \xi_R \cdot h_o,$$

где h_o – высота рабочего сечения плиты.

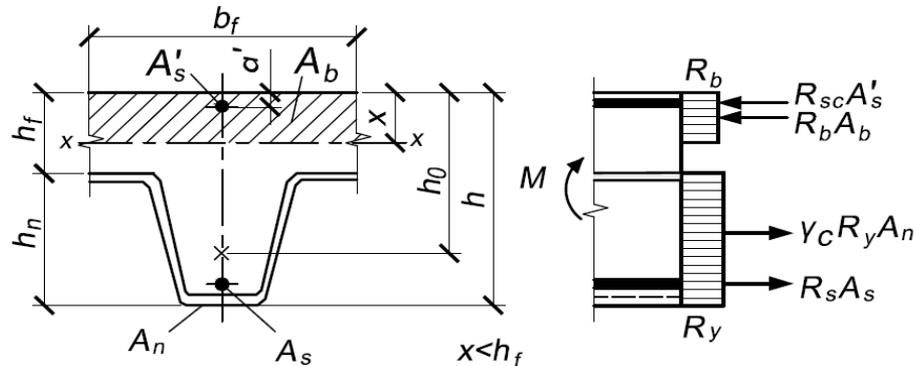
Если это условие не соблюдается, то следует увеличить толщину плиты, повысить класс бетона по прочности на сжатие, расположить в сжатой зоне дополнительную стержневую арматуру с тем, чтобы высота сжатой зоны не превышала граничную.

В зависимости от положения нейтральной оси в сечении плиты в пролете возможны три случая расчета на прочность:

Случай 1. Нейтральная ось находится в пределах толщины полки плиты и не пересекает стенок профилированного настила

Высоту сжатой зоны сечения плиты определяют из условия:

$$R_b b_f x = \gamma_c R_y A_n + R_s A_s - R_{sc} A'_s.$$



При расчете прочности плиты должно выполняться условие:

$$M \leq R_b b_f x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'),$$

R_{sc} – расчетное сопротивление сжатию стержневой сжатой арматуры;

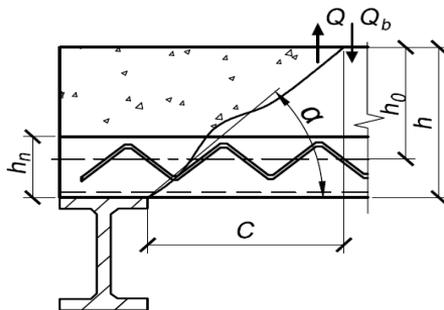
a' – защитный слой сжатой стержневой арматуры;

h_0 – высота рабочего сечения плиты, принимается как расстояние от крайней сжатой грани плиты до точки приложения равнодействующей растягивающих усилий в настиле и гибкой арматуре;

γ_c – коэффициент условия работы от 0,4 до 0,8 в зависимости от типа настила.

Расчет прочности плиты по наклонным сечениям

Расчет прочности плиты по наклонным сечениям выполняется на действие поперечной силы, а угол α наклонной трещины принимается не менее 45° к горизонтальной оси:



При этом должны соблюдаться условия:

$$Q \leq 0,34R_y\gamma_c h_n t_n + Q_b; \quad Q \leq 0,15R_b(b + b')h_0,$$

где $0,34R_y\gamma_c h_n t_n$ – поперечное усилие, воспринимаемое стенками настила в одном гофре;
 Q_b – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном.

Поперечное усилие Q_b , воспринимаемое бетоном в наклонном сечении, определяют по формуле:

$$Q_b = \frac{0,75 \cdot R_{bt} \cdot (b + b') \cdot h_0^2}{c}$$

при условии, что $0,5R_{bt} \frac{(b+b')}{2} h_0 \leq Q_b \leq 2,5R_{bt} \frac{(b+b')}{2} h_0$,

где c – длина проекции наклонного сечения, принимается не менее $1,0h_0$ и не более высоты сечения h ;

b и b' – ширина бетонного ребра

Проверка прочности сцепления настила с бетоном

Расчет прочности сцепления настила с бетоном определяют для крайних пролетов плиты, считая от концов элементов настила на свободных опорах.

Сцепление настила с бетоном проверяют для нормального сечения плиты в месте наибольшего изгибающего момента, в четверти пролета и в местах приложения сосредоточенных нагрузок. При этом должно соблюдаться условие:

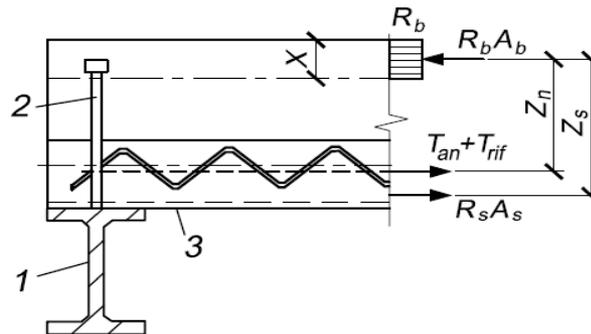
$$M \leq (T_{an} + T_{rif})z_n.$$

где M – расчетный изгибающий момент от действия внешних сил на ширину одного гофра настила;

T_{an} – сопротивление анкерных упоров сдвигу бетона по концам настила;

T_{rif} – сопротивление рифов, расположенных на стенках настила, сдвигу относительно бетона;

z_n, z_s – расстояния от равнодействующей усилия сжатия в сечении плиты до равнодействующей усилия растяжения в сечении настила и стержневой арматуре соответственно



1 – прогон; 2 – анкер; 3 – стальной профилированный настил
Схема усилий при расчете по прочности анкеровки

Расчетное значение T_{an} принимается меньшим из полученных следующих двух величин:

сопротивление сдвигу анкеров в виде стад-болтов по концам настила определяется по формуле:

$$T_{an1} = 0,64R_yA_{an}n_{an},$$

где A_{an} – площадь поперечного сечения стад-болта;

n_{an} – количество стад-болтов в одной нижней полке настила;

R_y – расчетное сопротивление стали стад-болта;

сопротивление анкеровки сдвигу с учетом скалывания бетона относительно стад-болтов определяется по формуле:

$$T_{an2} = \frac{1}{\gamma_\delta} 0,29 \cdot n_{an} \cdot \alpha \cdot d_1^2 \sqrt{R_b \cdot E_b},$$

где d_1 – диаметр стержня стад-болта;

E_b – начальный модуль упругости бетона.

Коэффициент α равен:

$$\alpha = 0,2 \cdot \left(\frac{h_a}{d_1} + 1\right) \text{ при } 3 \leq \frac{h_a}{d_1} \leq 4,$$

$$\alpha = 1 \text{ при } \frac{h_a}{d_1} > 4$$

Здесь h_a – длина стад-болта;

γ_δ – коэффициент условия работы анкера определяется по результатам испытаний,

$\gamma_\delta = 1,25$ – для стад-болта.

Сопrotивление рифов настила на смятие при его сдвиге относительно бетона определяется по формуле:

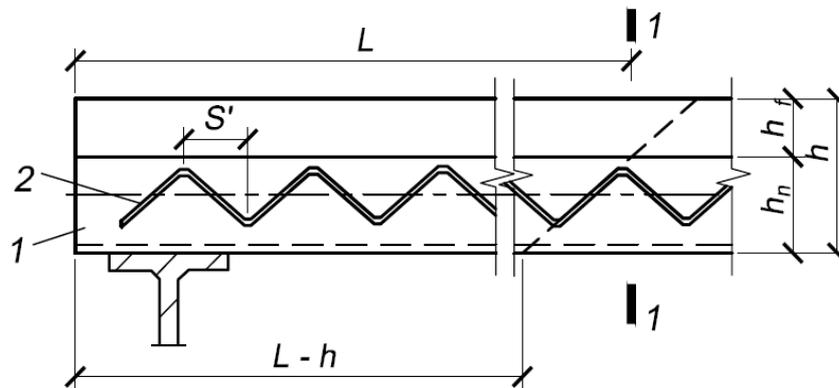
$$T_{rif} = \gamma_c \cdot R_b \cdot l_{rif} \cdot a_{rif} \cdot n_{rif},$$

где γ_c – коэффициент условия работы настила;

l_{rif} – длина одного рифа;

a_{rif} – глубина выдавливания одного рифа.

n_{rif} – количество рифов на стенках одного гофра по длине участка настила L от рассматриваемого сечения до ближайшей опоры настила



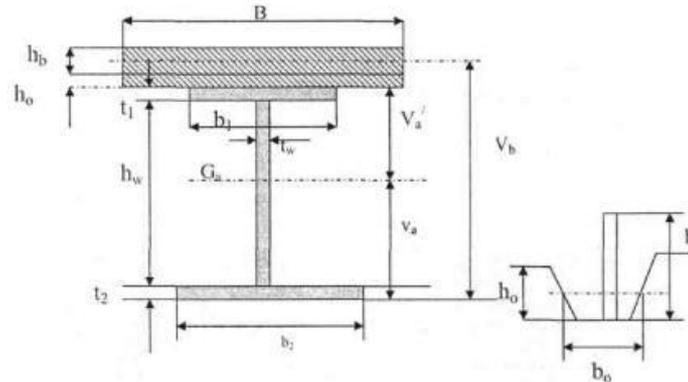
1 – стальной профилированный настил; 2 – выштампованные рифы; 1-1 – сечение по пролету настила в месте наибольшего изгибающего момента, в четверти пролета, в местах приложения сосредоточенных сил; L – длина участка расположения рифов на стенках настила, учитываемых в расчете его анкеровки по формуле

Расчет комбинированной балки перекрытия

На стадии эксплуатации при расчете комбинированной балки учитывается железобетонная плита перекрытия по стальному профилированному настилу, шириной B определяемой по формуле:

$$B = l / 4$$

где l - шаг балок, м.



Расчетное усилие сдвига, воспринимаемое анкерами, расположенными в одном гофре, определяется по формуле:

$$P_d^R = r R P_d$$

Где r – коэффициент, зависящий от расположения балки относительно настила

R – коэффициент от 1 до 0,6 при пролетах балки от 3 до 15м.

P_d – расчетное сопротивление одного анкера на сдвиг.

Расчет стержневого упора-шпильки (стад-болт)

Сопротивление упора при срезающем усилии, действующем между монолитной плитой и поясом балки, принимается по меньшему из значений, определяемых по формулам согласно Eurocode 4 EN 1994-1-1:

$$P_{Rd} = \frac{0,8 f_u \pi d^2}{4 \cdot \gamma_v}$$

или

$$P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2}{\gamma_v} \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}$$

где $\alpha = 0,2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right)$ для $3 \leq h_{sc}/d \leq 4$;

$\alpha = 1$ для $h_{sc}/d > 4$;

$\gamma_v = 1,5$ – коэффициент условия работы упора;

d - диаметр стержня упора в пределах $16 \leq d \leq 25$ мм;

f_u - временное сопротивление стали упора, но не более 500 Н/мм²;

f_{ck} - цилиндрическая прочность бетона на сжатие при плотности не менее 1750 кг/м³;

h_{sc} - общая длина упора.

Расчет уголкового упора

Предельные сдвигающие усилия на упоры X-HVB 80 и все остальные их типы принимаются равными $R_{d,ss}=16$ кН и $R_{d,ss}=22$ кН соответственно по Еврокоду-4 с учетом их упругой работы.

Расчет несущей способности упоров выполняется с учетом коэффициентов запаса, определяемых в зависимости от ориентации профилированного настила относительно балок.

Допускаемое срезающее усилие на упор определяется по формуле

$$P_{rd} = R_{d,ss} K_1$$

где K_1 - коэффициент запаса, принимаемый от 0,5 до 1,0.

При расположении трапециевидных гофров настила поперек балок

$$K_1 = \frac{0,7}{\sqrt{N_r}} \frac{b_0}{h_{ap}} \frac{h_{sc} - h_{ap}}{h_{ap}}$$

где $N_r = 1$, если в каждом гофре установлен один упор;

$N_r = 2$, если в каждом гофре - 2 или 3 упора;

b_0 и h_{ap} - ширина нижней полки и высота гофра настила;

h_{sc} - высота упора.

При расположении гофров настила вдоль балки:

$$P_{rd} = P_{d,ss} K_p$$

где $K_p = 1,0$, если $b_0/h_{ap} \geq 18$

$$K_p = 0,6 \frac{b_0}{h_{ap}} \frac{h_{sc} - h_{ap}}{h_{ap}}$$

$0,5 \leq K_p \leq 1,0$

Усилие взаимодействие стальной балки и бетона плиты определяется в зависимости от числа анкеров, установленных по длине балки и силы сдвига, воспринимаемой одним анкером, и определяется по формуле:

$$F_{\text{д}}^* = NP$$

Предельный момент для комбинированной балки и её прогиб определяются в зависимости от положения нейтральной оси в верхней полке балки или в пределах её стенки в соответствии с СП 63.13330.

Расчет прогиба плиты

Прогиб плиты рассчитывают по формуле:

$$f_m = f_n + f_{rc} + f_{add},$$

где f_n – максимальный прогиб настила от нормативных нагрузок на стадии укладки бетонной смеси;

f_{rc} – прогиб плиты от действия постоянной и временной нагрузок на стадии эксплуатации с учетом ее расчетной кривизны;

f_{add} – дополнительный прогиб плиты за счет податливости анкерных связей.

При наличии расчетной надпорной гибкой арматуры расчет прогиба плиты выполняется как для неразрезной конструкции.

Прогиб f_m не должен превышать предельных прогибов конструкций, устанавливаемых в СП 20.13330 для соответствующих видов конструкций, а также не должен превышать значения 1/150 пролета плиты.

Коррозионная стойкость профнастила перекрытия

Коррозионная стойкость профилированного настила зависит от степени агрессивного воздействия среды, толщины цинкового покрытия и типа дополнительного лакокрасочного (полимерного) покрытия в соответствии с требованиями СП 28.13330.

Толщина цинкового покрытия профилированного настила должна быть не менее 18 мкм в соответствии с первым классом по ГОСТ 14918 и классом 275 по ГОСТ Р 52246.

Учитывая, что в неагрессивной среде скорость коррозии горячеоцинкованного покрытия металла установлена не более 0,5 мкм в год, срок службы настила в данных условиях должен составлять не менее 36 лет.

Для увеличения коррозионной стойкости оцинкованного настила при эксплуатации в неагрессивной среде и возможности его применения в слабоагрессивной среде, профили настила рекомендуется изготавливать из оцинкованной рулонной стали с полимерным покрытием по ГОСТ 52146.

Огнезащита профнастила плиты перекрытия

Испытания показали, что предел огнестойкости плиты перекрытия по профилированному настилу, выполняющему функции внешней рабочей арматуры, составляет не менее REI 30 без дополнительной защиты. Для повышения огнестойкости такой плиты требуется дополнительная защита от огня. Наиболее эффективный способ повышения предела огнестойкости данной конструкции до REI 60 является закрепление гипсокартонной плиты или аква-панели толщиной 12,5 мм на нижних полках профнастила.

Крепление огнестойких панелей или плит к профилированному настилу выполняется с помощью самонарезающих винтов.

Для увеличения огнестойкости монолитной плиты по профилированному настилу до 120 минут используется дополнительное армирование, зависящее от ее пролета, расчетной нагрузки на перекрытие и эффекта температурного воздействия, определяемого по EN 1994-1-2 (Приложение D).

Эффективность применения профилированного настила в сталежелезобетонных перекрытиях

Сравнение технико-экономических показателей для нескольких вариантов сталежелезобетонных конструкций междуэтажных перекрытий показало, что использование профилированного стального настила в качестве несъемной опалубки и внешней рабочей арматуры монолитной плиты вместо традиционной технологии ее изготовления и армирования позволяет:

- сократить трудозатраты при строительстве почти в 3 раза;
- уменьшить массу перекрытия на 30–50%, расход стали на балки на 15%;
- исключить металлическую или деревянную опалубку;
- сократить срок строительства на 25 %;
- уменьшить строительную высоту на 10 %;
- повысить безопасность труда и пожарную безопасность на стадии монтажа;
- увеличить жесткость перекрытий здания при действии горизонтальных нагрузок;
- размещать коммуникации в гофрах профнастила.