УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

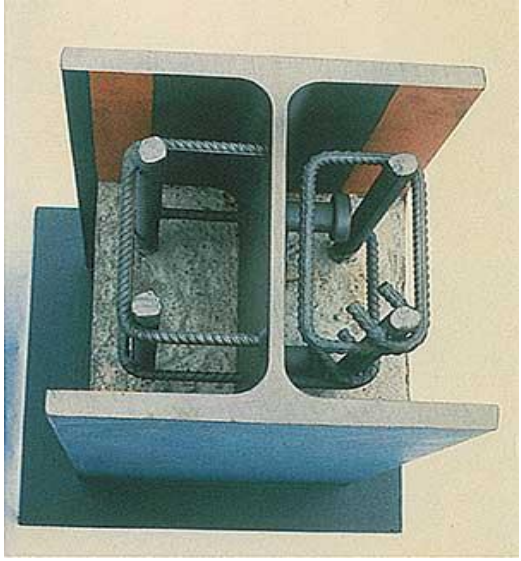
# Оптимизация металлокаркаса благодаря совместной работе стали и бетона

Никита Беляев
ведущий инженер-конструктор УЦСС
27.05.2015

# Определение

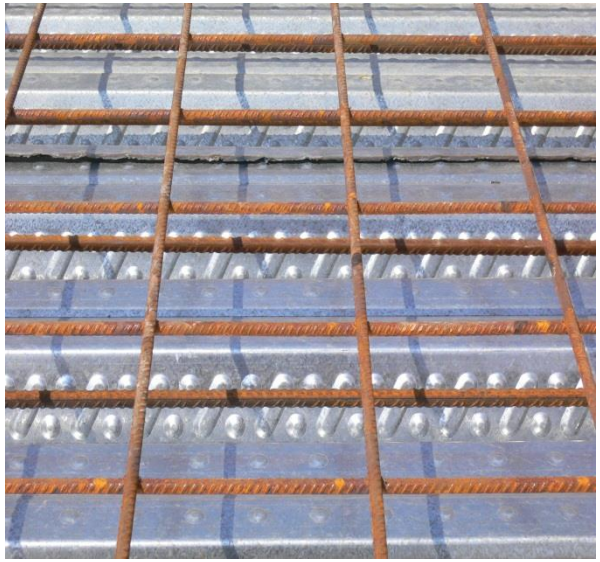
**Сталежелезобетонный элемент (composite member)** – конструктивный элемент с компонентами из бетона и конструкционной или холодноформованной стали, объединенных сдвиговым соединением, ограничивающим взаимный продольный сдвиг между бетоном и сталью, и отрыв одного компонента от другого.

**Сталежелезобетонная плита (composite slab)** – плита перекрытия, в которой стальные профилированные листы используются вначале в качестве несъемной опалубки, а затем конструктивно объединяются с бетоном, и после его твердения работает в качестве внешней растянутой арматурой.



**Сталежелезобетонная колонна**

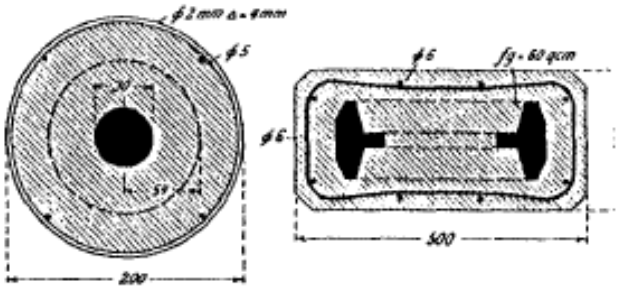
**Сталежелезобетонные балки**



**Сталежелезобетонные перекрытия**

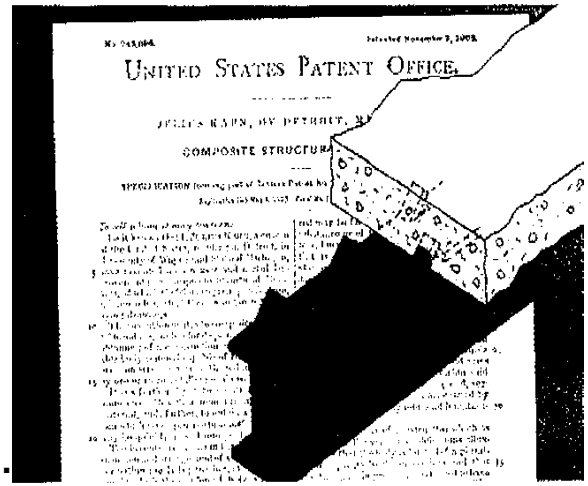
# История

Уже **в конце 19-го века** существовало мнение, что железные балки, облицованные бетоном по конструктивным соображениям или с целью увеличения огнестойкости, обладают увеличенной прочностью и жесткостью.




**В 1900 году** Фритц фон Эмпергер начал испытания первых комбинированных колонн из бетона с литым железным сердечником и получил патент на колонну, получившую его имя **«Emperger Column».**

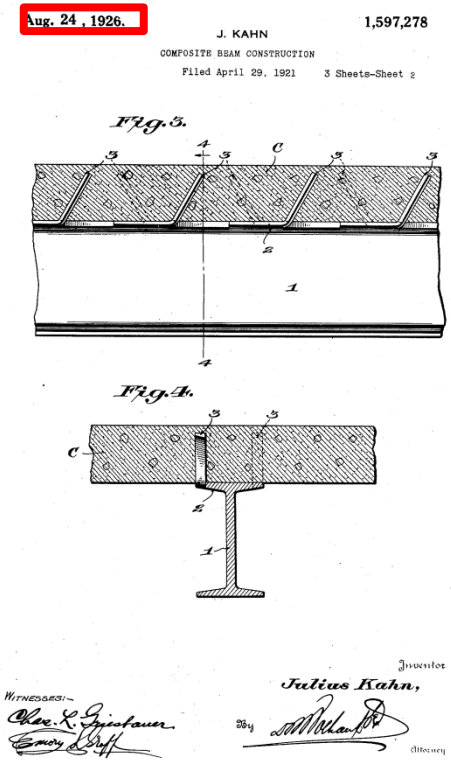
**В то же время** в США Юлиусом Каном были получены первые патенты на конструктивные решения сталежелезобетонных балок и плит во многом похожие на свои современные аналоги.

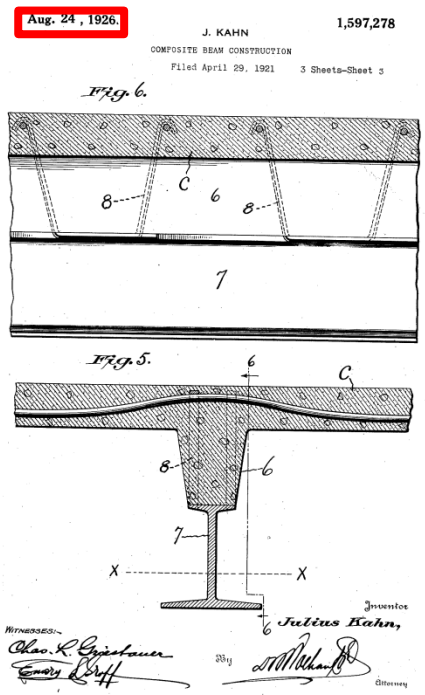


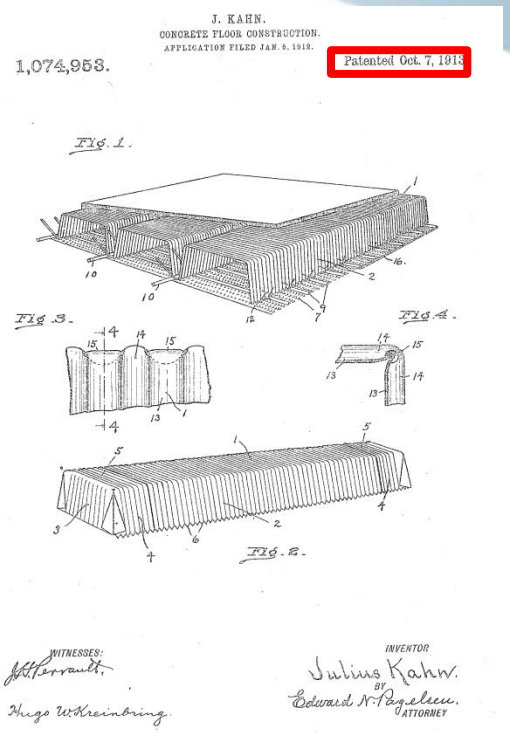

Ранние описания сталежелезобетонных балок встречаются в публикациях **Вакабаяши (Япония, 1910 год),** Талбота и Лорда **(США, 1912 год),** Свэйна и Холмса **(США, 1915 год),** МакКея, Гиллеспи и Лелуана **(Канада, 1923 год)**, Камборнака **(Франция, 1927 год**), а также Каугея и Скотта **(Англия, 1929 год).**

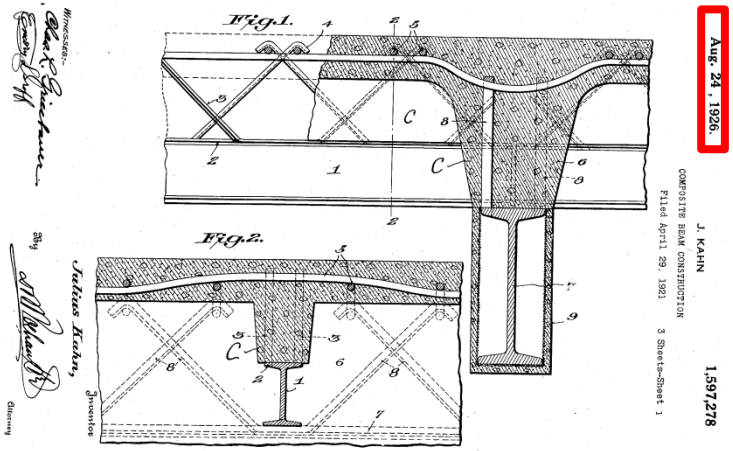
**Однако основные разработки конструктивных решений и их расчетных методик были реализованы во второй половине 20-го века.**

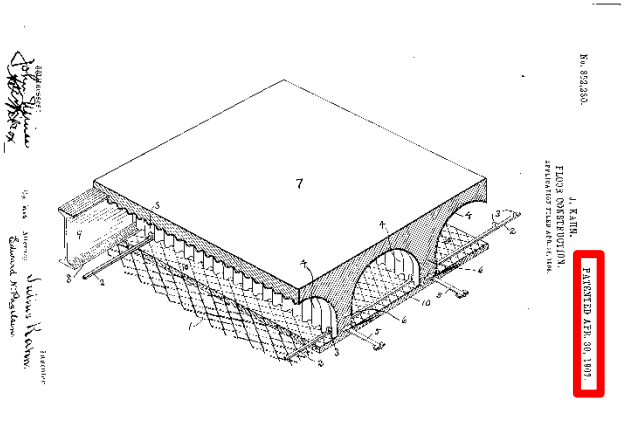
# История



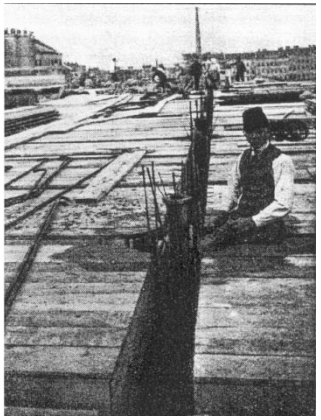




УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

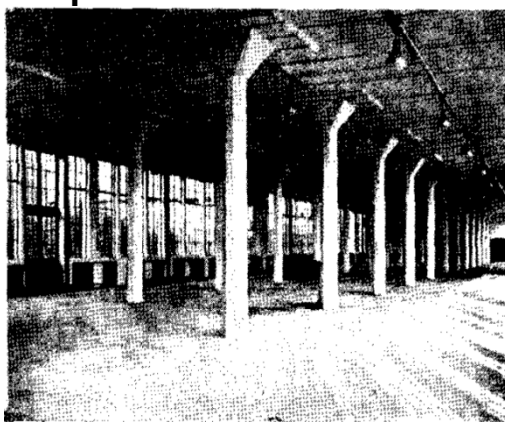
# История

Эти конструкции сразу нашли **применение на практике:**

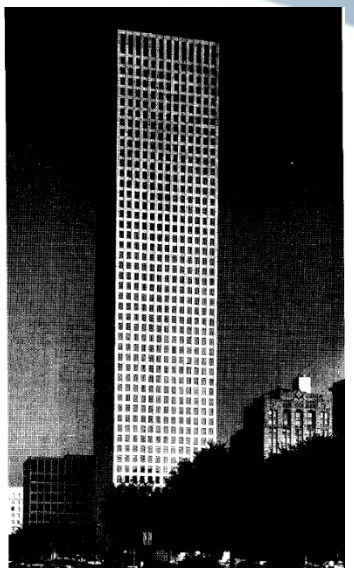
**Здание МакГроу,**
**г. Нью Йорк, 1908 год**



**Здание Эрикссон,**
**г. Вена, 1913 год**

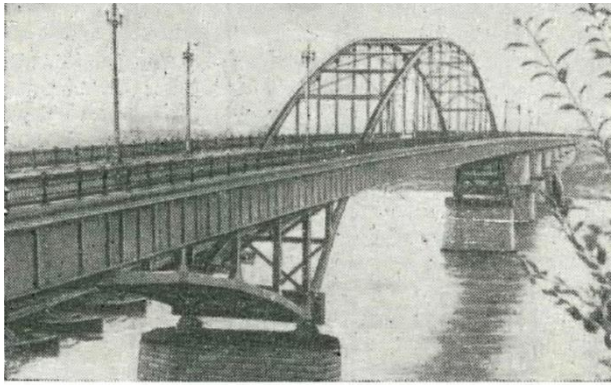


**Телефонная фабрика,**
**г. Будапешт, 1931 год**

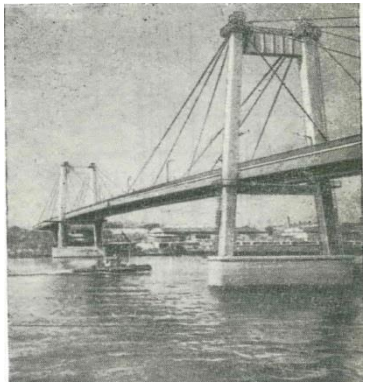


**One Shell Square,**
**г. Новый Орлеан, 1970 год**

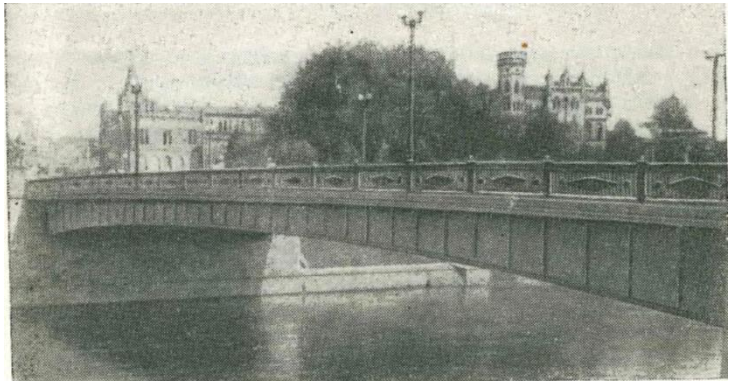
Однако основное развитие, в том числе и в послевоенном СССР сталежелезобетонные решения получили **благодаря мостовым конструкциям:**



**Мост через р. Белую,**
**г. Уфа, 1956 год**



**Рыбальский мост,**
**г. Киев, 1963 год**



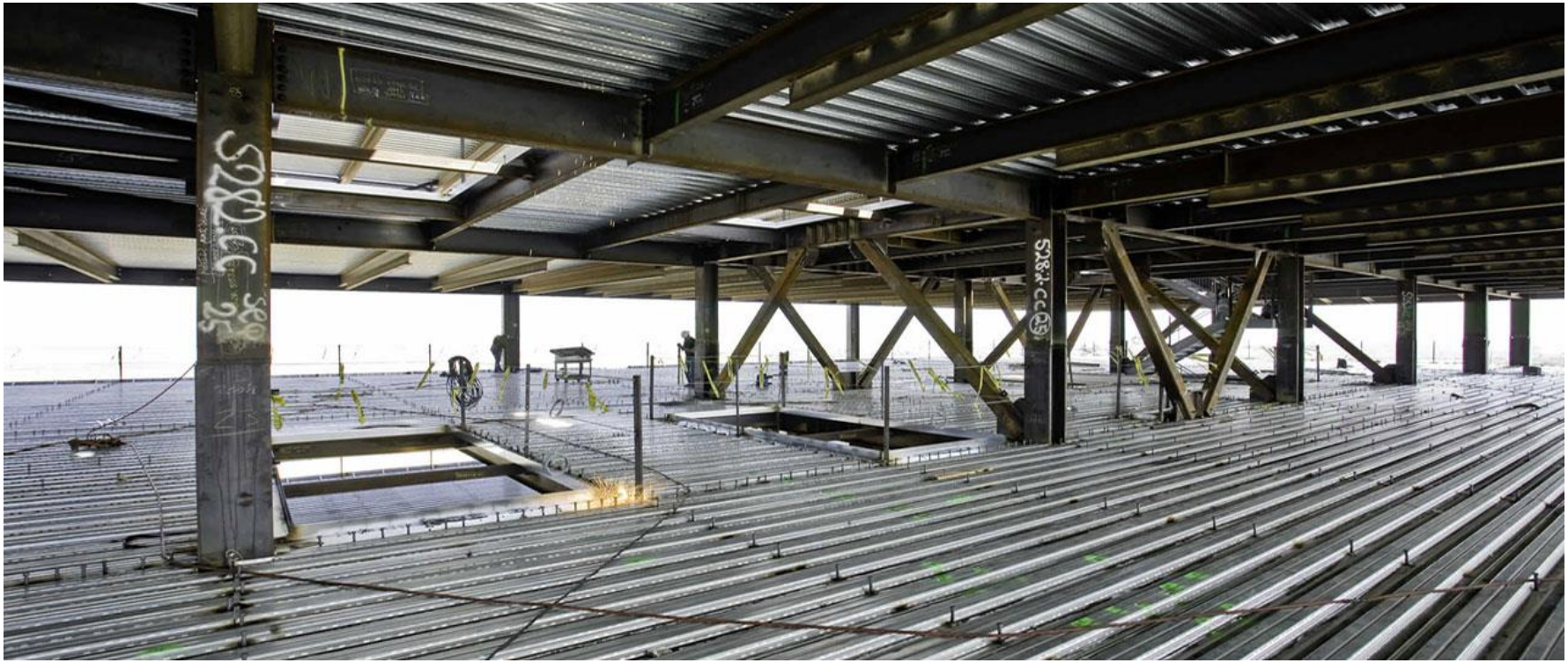
**Консольно –рамный мост,**
**г. Вильнюс, 1970 год**

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Современное применение

**Основное применение в промышленном и гражданском строительстве - перекрытия**

Начиная с 70-х годов на строительных рынках Великобритании, США, Канады, Австралии сталежелезобетонные перекрытия успели стать самым распространенным решением для многоэтажного коммерческого строительства с металлокаркасом.



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Примеры в Украине

**МФК Sky Towers,
г. Киев**

**Реконструкция транспортного
узла на Московской пл., г. Киев**

**Мост через р. Днепр,
г. Запорожье**

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

# Нормативная база, регламентирующая проектирование

**Основанная на национальных технологических традициях**

**ДНБ В.2.6-160:2010**
«Сталежелезобетонные конструкции. Основные положения»

**ДСТУ Б В.2.6-206:2015**
«Сталежелезобетонные конструкции. Расчет и конструирование изогнутых и сжатых элементов»

**ДСТУ В.2.6.-xx:201x**
«Расчет и конструирование соединительных элементов сталежелезобетонных конструкций»

**ДСТУ В.2.6.-xx:201x**
«Расчет и конструирование сталежелезобетонных конструкций с плитами по профилированным настилам»

**Еще не введены**

**Гармонизированные европейские нормы**

**ДСТУ-Н Б EN1994-1-1**
“Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Общие положения и правила для зданий»

**ДСТУ-Н Б EN1994-1-2**
“Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Расчет конструкций на огнестойкость»

**Проектирование мостовых конструкций** как в национальной ветке, так и в гармонизированных документах выделено в **отдельные своды правил.**
В отечественной практике – это ряд ДБН и ГБН, в европейской – ДСТУ-Н Б EN 1994-2 «Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Общие положения и правила для мостов»

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Сравнения расчета плиты по различным рекомендациям

| Тип профнастила | | СКН50Z-600-1,0 | | | СКН90Z-1000-1,0 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Проверки | | Выполнено по EN4 (Пример 1) | Выполнено по по Рекомендациям НИИЖБ и ЦНИИпромзданий (Пример 3) | Выполнено по СТО 0047-2005 (Пример 5) | Выполнено по EN4 (Пример 2) | Выполнено по по Рекомендациям НИИЖБ и ЦНИИпромзданий (Пример 4) | Выполнено по СТО 0047-2005 (Пример 6) |
| В стадии возведения | Прочность в пролете | 5,4кН·м/м<15,36кН·м/м | $\sigma_n$=78,7 МПа < 240 МПа | $\sigma_n$=78,7 МПа < 240 МПа | 5,4кН·м<17,97кН·м | $\sigma_n$=77,2 МПа < 240 МПа | $\sigma_n$=77,2 МПа < 240 МПа |
| | Прочность на опоре | | $\sigma_n$=261,7МПа > 240 МПа не обеспечивает | $\sigma_n$=261,7МПа > >240 МПа не обеспечивает | | $\sigma_n$=180,7МПа < <240 МПа | $\sigma_n$=180,7МПа < < 240 МПа |
| | Вертикальный сдвиг | 7,55 кН/м<50,1кН/м | $Q/\Sigma th_n$=11,35 МПа < <140 МПа. | | 6,94 кН/м<41,1кН/м | $Q/\Sigma th_n$=12,56 МПа < 140 МПа. | |
| | Прогиб (жесткость) | 14,1мм<16,3мм пролет/202 < пролет/180 | 2,92 см > 1,5см пролет/103> >пролет/200 не обеспечивает | 2,72 см > 1,5см пролет/110> >пролет/200 не обеспечивает | 5,2мм<16,3мм пролет/550<пролет/180 | 0,8 см > 1,5см пролет/375<пролет/200 | 0,6 см > 1,5см пролет/375<пролет/200 |
| В стадии эксплуатации | Прочность нормального сечения | 15,9кН·м/м<27,0кН·м/м | 2,385кН·м<3,61кН·м | 2,385кН·м<5,499кН·м | 15,4кН·м<31,0 кН·м | 5,08кН·м<6,75кН·м | 5,08кН·м<10,67кН·м |
| | Вертикальный сдвиг | 22,2кН/м<35кН/м | 3,33 кН<45,2 кН 3,33кН<20,4кН | 3,33 кН<45,2 кН 3,33кН<20,4кН | 21,5кН/м<35кН/м | 7,1 кН<47,1 кН 7,1кН<20,8кН | 7,1 кН<47,1 кН 7,1кН<20,8кН |
| | Прогиб (жесткость) | 16,6мм>16,3мм пролет/177≈пролет/180 | 39,8мм>20мм пролет/75>пролет/150 не обеспечивает | 39,8мм>20мм пролет/75> >пролет/150 не обеспечивает | 7,6мм<16,3мм пролет/385<пролет/180 | 29,7мм>20мм пролет/101> >пролет/150 не обеспечивает | 29,7мм>20мм пролет/101> <пролет/150 не обеспечивает |
| | Продольный сдвиг методом m-k | 22,2кН/м<29,8кН/м | | | 21,5кН/м<31,2кН/м | | |
| | Продольный сдвиг методом частичного бъединения | 22,2 кН/м<44,0кН/м | | | 21,5кН/м<38,3кН/м | | |
| | Прочность анкеровки | | 16,6 кН·м<49,5кН·м (в середине пролета) 12,5 кН·м<26,0кН·м (в четверти пролета) | 16,6 кН·м<50,4кН·м (в середине пролета) 12,5 кН·м<26,9кН·м (в четверти пролета) | | 16,1 кН·м<20,0кН·м (в середине пролета) 12,1 кН·м >11,1кН·м (в четверти пролета) не обеспечивает | 16,1 кН·м<23,9кН·м (в середине пролета) 12,1 кН·м<15,0кН·м (в четверти пролета) обеспечивает |

**Вывод:** результаты расчетов согласно рекомендациям, разработанным в СНГ не соответствуют Еврокоду 4, особенно при проверках по второй группе предельных состояний.

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Преимущества

**Для промышленного строительства сталежелезобетонные конструкции могут быть обоснованы как экономически, так и технологически.**

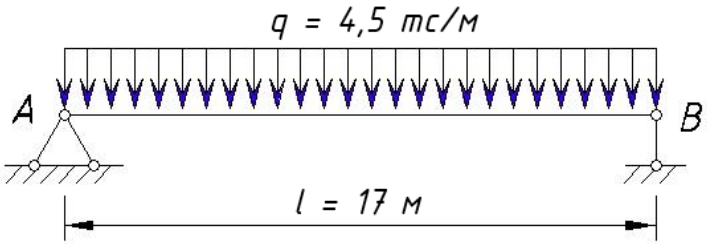
**Преимущества перекрытий** аналогичны сектору коммерческого строительства:

- Сокращение трудозатрат на возведение перекрытий в пределах 25…40% и общих сроков строительства до 25%;
- Снижение металлоемкости благодаря композитной работе до 20%;
- Уменьшение общей массы перекрытия на 30…50%;
- Уменьшение строительной высоты перекрытий и возможность увеличения пролетов;
- Повышение жесткости благодаря образованию дисков перекрытий;
- Методы разводки коммуникаций в створе конструкции;
- Снижение транспортных расходов;
- Легкость утилизации, реконструкции и расширения;
- Повышение безопасности труда

**Преимущества сталежелезобетонных колонн** в объектах промышленности скорее технологические:

-Повышение несущей способности с уменьшением габаритов колонн;
- Повышение жесткости;
- Выполнение бетоном функции конструктивной огнезащиты конструкции.

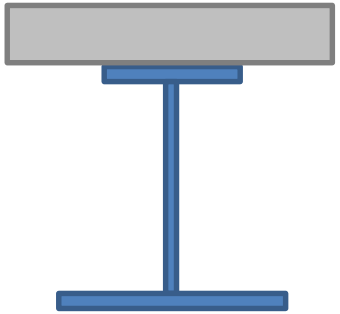
# Пример




**Вариант 1**

Схема – беспрогонная;
Балка – сталежелезобетонная;
Сталь балки – С345 (повышенной прочности);
Бетон – С30/37 (В40);
Арматура – А500С;
Примечание – балка со строительным подъемом 140 мм;
Расчет – согласно ДСТУ-Н Б EN1994-1-1.

**Сечение балки**

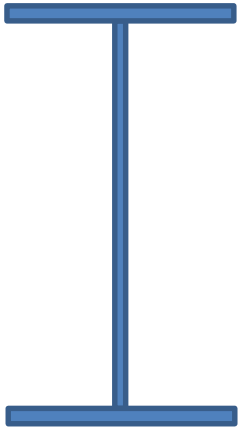


Верхний пояс – 180х20мм;
Нижний пояс – 230х20мм;
Стенка – 560х12мм;
Общая высота – 600мм;
Вес м.п. – 117,1 кг.

**Вариант 2**

Схема – прогонная;
Шаг прогонов – 3,4м;
Сталь балки – С245 (обычная);
Бетон – С30/37 (В40);
Арматура – А500С;
Примечание – балка без строительного подъема;
Расчет – согласно ДБН В.2.6-198:2014

**Сечение балки**



Верхний пояс – 280х20мм;
Нижний пояс – 280х20мм;
Стенка – 960х14мм;
Общая высота – 1000мм;
Вес м.п. – 193,4 кг.

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

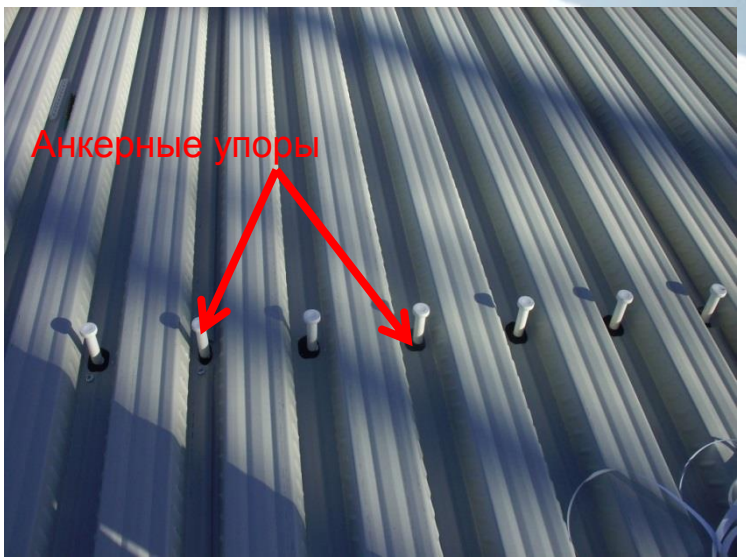
# Результаты сравнения

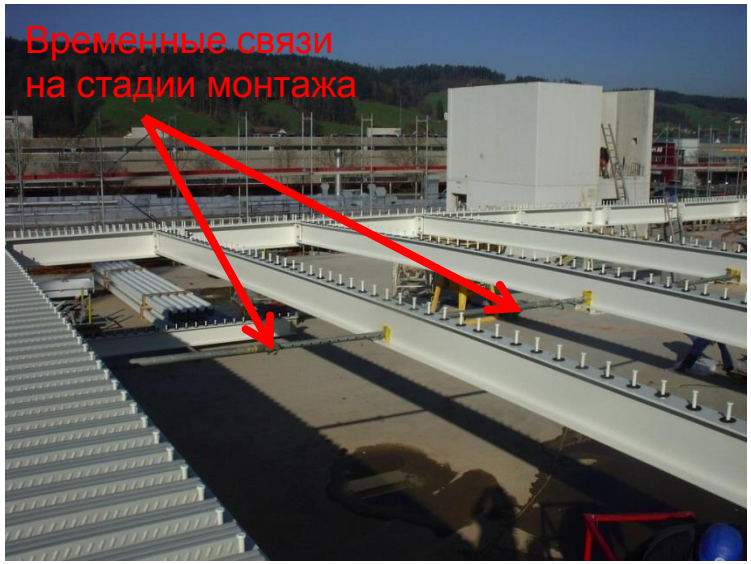
**В порядке указания преимуществ:**

| Показатель | Преимущество |
|---|---|
| Сокращение трудозатрат | В сталежелезобетонной схеме отсутствуют прогоны и связи перекрытия |
| Снижение металлоемкости | 39,5% (вариант 1 – 117,1кг; вариант 2 – 193,4кг) |
| Уменьшение общей массы перекрытия | Да |
| Уменьшение высоты балки | 40% (вариант 1 – 600мм; вариант 2 – 1000мм) |
| Повышение жесткости | Да, перекрытия образовывают жесткие диски |
| Методы разводки коммуникаций в створе конструкции | Да |
| Снижение транспортных расходов | Да |
| Легкость утилизации, реконструкции и расширения | Да |
| Повышение безопасности труда | Да |

**Особенности:** в сталежелезобетонной схеме с целью уменьшения высоты принята балка со строительным подъемом; в структуре снижения металлоемкости около 20% - за счет стали С345 и около 20% - за счет совместной работы.

# Практическая реализация

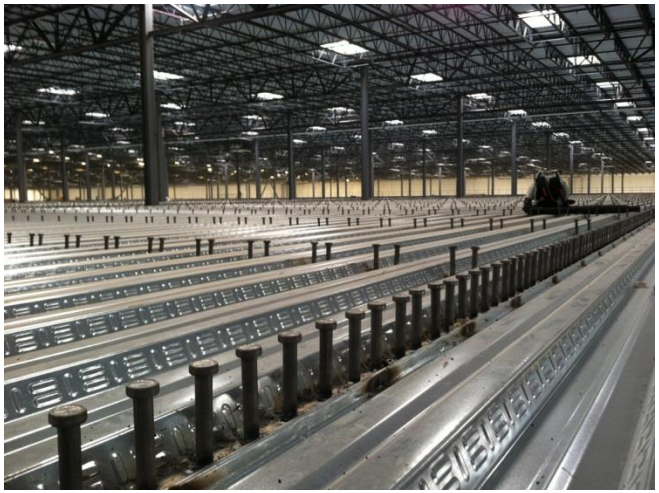


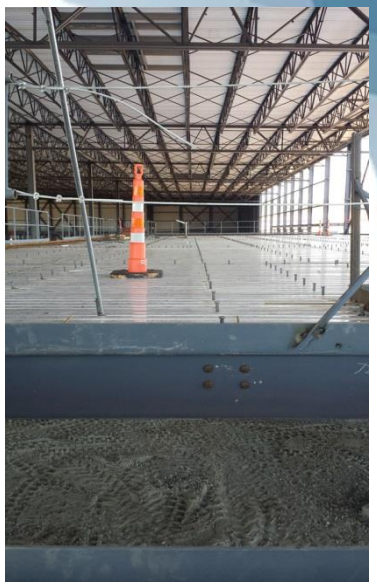



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

# Применение в промышленности

**1. Перекрытия  и технологические площадки**





**2. Колонны**

# Применение при реконструкции

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

# Обеспечение совместной работы в колоннах

**В случае когда и стальная, и железобетонная части сечения выполняются несущую функцию необходимо обеспечивать соответствующую передачу усилий:**

**Совместная работа сталежелезобетонных колонн**

**Опирание через плоскость (опорные пластины)**

**Без дополнительных мероприятий только для полностью сжатых сечений**

**Частичное опирание через плоскость (опорные ребра)**

**Без дополнительных мероприятий только часть сечения включается в работу**

**Соединительные элементы (упоры)**

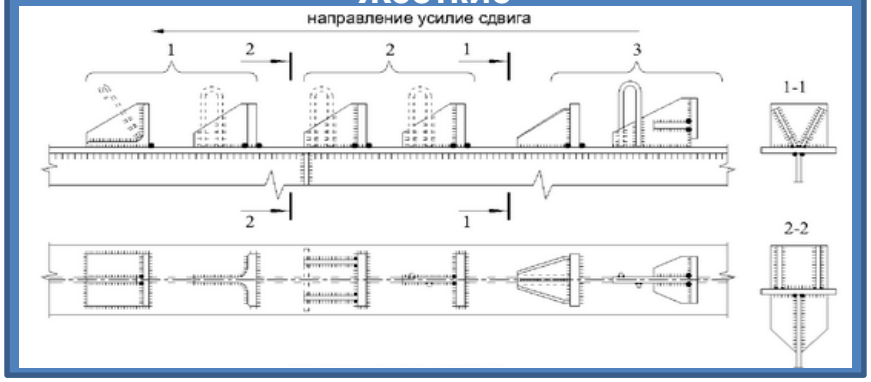
**Для перераспределения усилий**

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Обеспечение совместной работы в балках

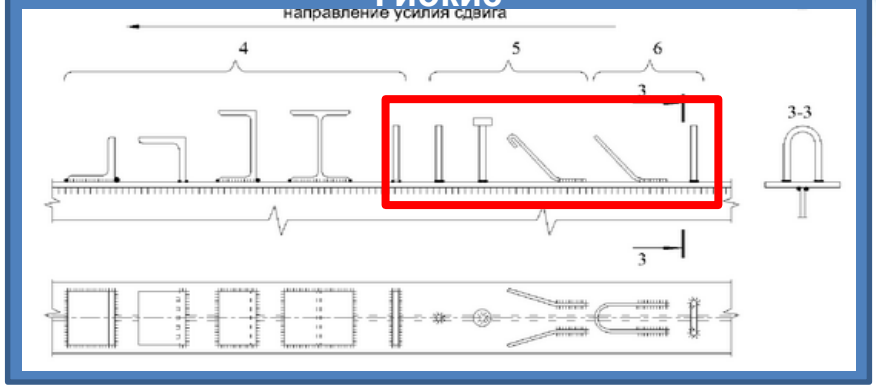
**Анкерные упоры**

## Жесткие




1. Основное применение – мостовые конструкции;
2. Не рассматриваются в Еврокоде 4;
3. Требуют аргументированной расчетной методики;
4. Согласно Еврокоду 4 применение должно основываться на испытаниях;

## Гибкие




1. Основной тип упоров для промышленного и гражданского строительства
2. Методика для стад-болтов указана в Еврокоде 4;
3. Для отличных от стад-болтов упоров Еврокод 4 предлагает основываться на результатах испытаний.

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Типовые анкерные упоры

| Тип анкеров | Производители | Преимущества | Недостатки | Метод крепления |
|---|---|---|---|---|
| | NELSON STUD WELDING<br>KÖCO KÖSTER & CO | - простота применения<br>- использование в заводских условиях<br>- сквозная приварка на стройплощадке | - приварка к поверхности без покрытия<br>- контроль качества сварки на площадке | Контактная сварка<br> |
| | HILTI | - простота применения<br>- сквозное крепление на стройплощадке<br>- крепление к поверхностям с покрытием | - несущая способность 40% от стад-болтов<br>- не изучен вопрос работы при динамических нагрузках | Пороховое крепление<br> |

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Обеспечение совместной работы в плитах

**Следует рассматривать следующие ситуации:**

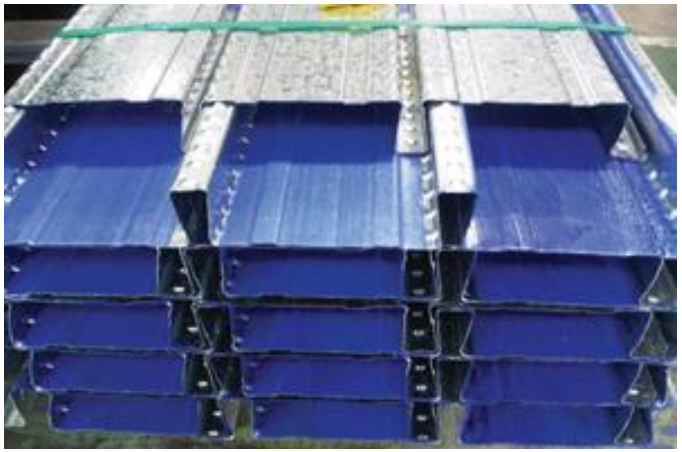
**1. стальной профилированный лист, являющийся опалубкой**. Необходима проверка стального профилированного листа, выполняющего функцию опалубки для подвижной бетонной смеси. При наличии временных опор следует учесть их влияние;

**2. сталежелезобетонная плита**. Необходима проверка плиты перекрытия после начала совместной работы и удаления всех временных опор.

**В первом случае обеспечение совместной работы не требуется.**

**Во втором используются специальные виды профнастилов и их комбинации с анкеровкой:**

**С рифами**



**С закрытым гофром**

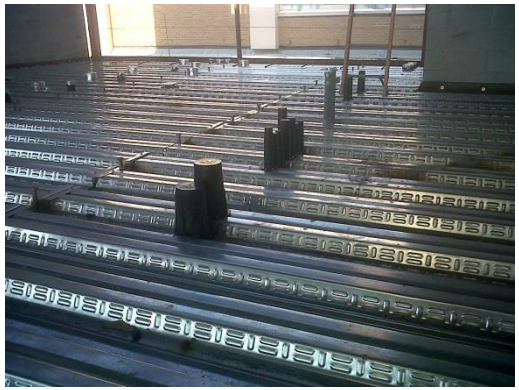
УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Проемы в перекрытиях

**Проемы следует классифицировать в зависимости от размера:**

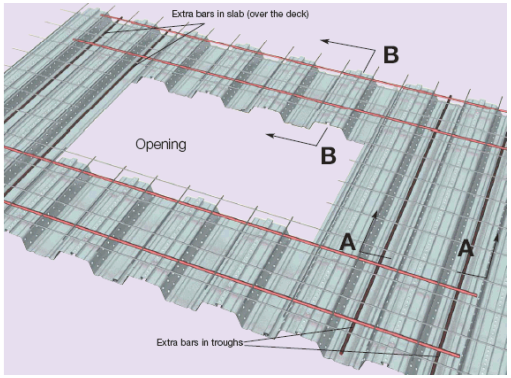
**Проемы в перекрытиях**

**Небольшие до 300 мм**



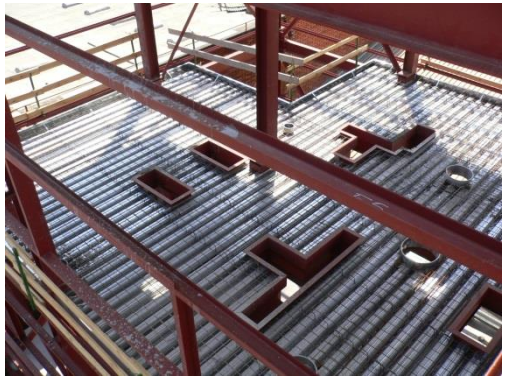
**Без дополнительных мероприятий**

**Средних размеров от 300 до 700 мм**




**Дополнительное армирование по периметру**

**Большие более 700мм либо близко расположенные**



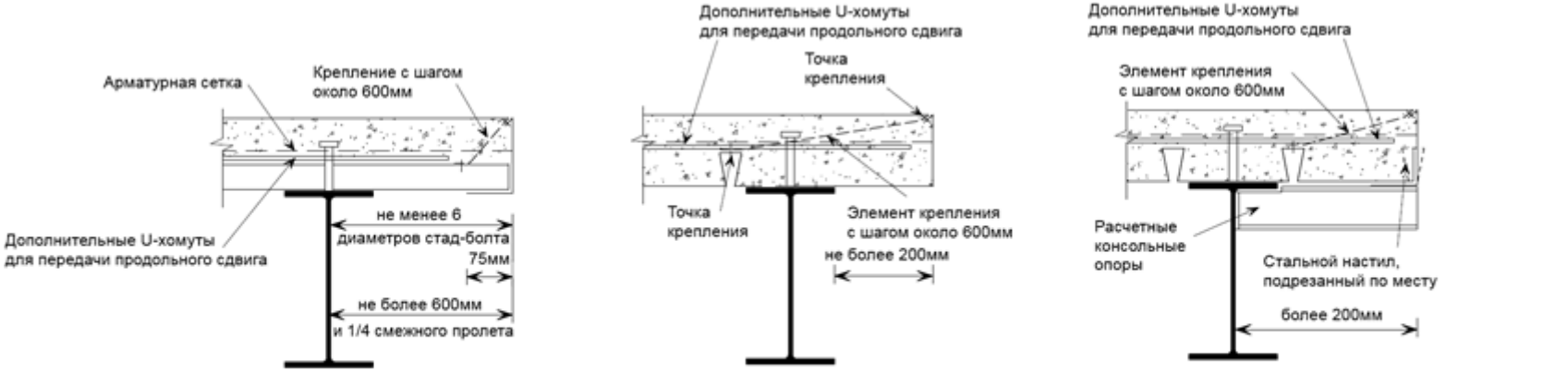
**Подрамники**

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Окантовка перекрытий

**В стандартном исполнении торцы перекрытий формируются окантовкой оцинкованными холодногнутыми планками из тонколистовой стали.**

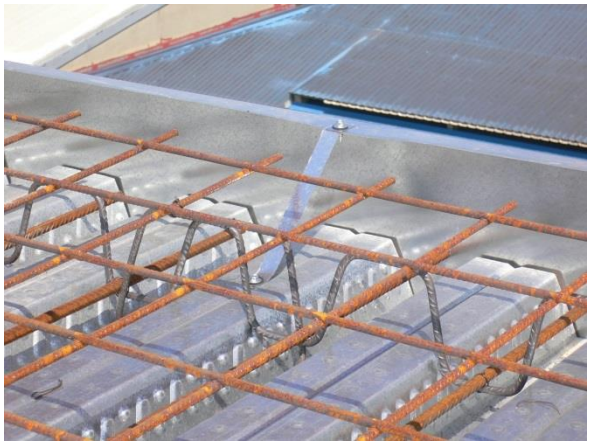
**Верхняя грань холодноформованных планок всегда должна раскрепляться с шагом от 600 до 1000мм в зависимости от толщины плиты.**




a) типовой узел торцевой консоли для настила перпендикуляного балке

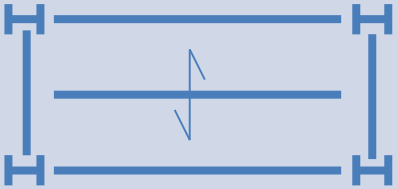
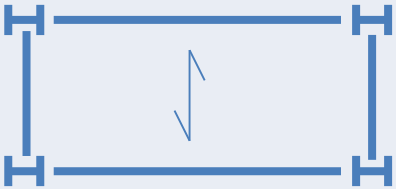
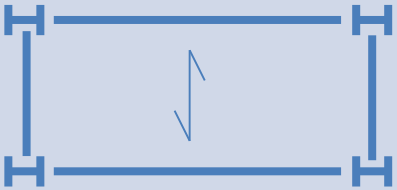
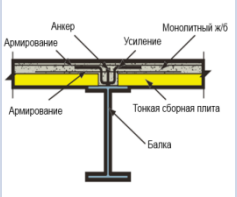
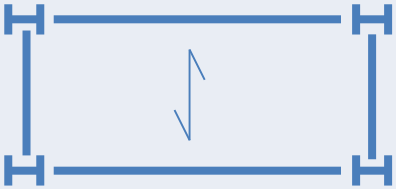
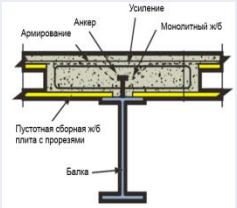
b) типовой узел торцевой консоли для настила параллельного балке

c) консольный участок с консольными опорами при настиле параллельном балке

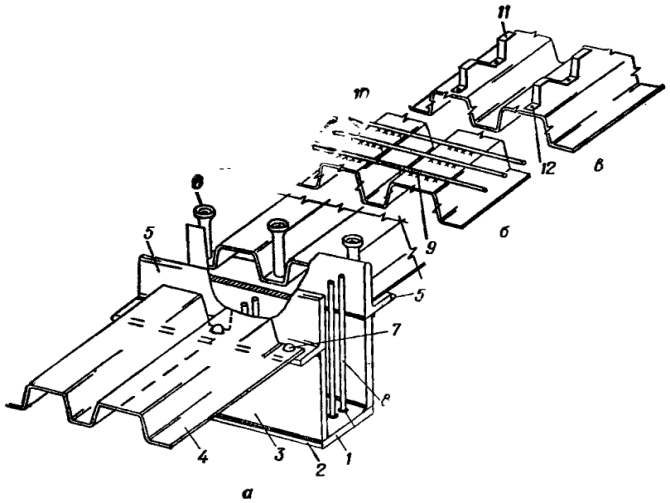


УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

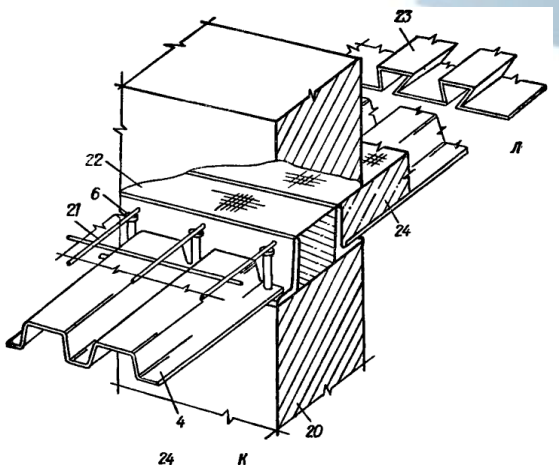
# Примеры типовых схем перекрытий

| Схема | Опирание настила | Описание |
|---|---|---|
|  | | Композитная система по несущему профнастилу высотой до 85мм. Одна из наиболее простых и распространенных систем, обеспечивающая композитную работу балки и плиты.<br>Шаг балок настила – до 3,5. |
|  | | Композитная система по высокому (до 250 мм) несущему профнастилу.<br>Шаг балок настила – до 6 м (из соображений несущей способности настила на этапе строительства).<br>Полная высота композитной плиты – до 300 мм. |
|  |  | Композитная система с полноразмерными сборными железобетонными пустотными плитами. В опорных участках плит должны предусматриваться прорези.<br>Шаг балок настила – до 7,5 м.<br>Полная высота плиты – до 220 мм. |
|  |  | Композитная система с тонкими сплошными сборными железобетонными плитами.<br>Толщина сборного настила – до 120 мм.<br>Шаг балок настила – до 5 м.<br>Полная высота композитной плиты – до 200 мм. |

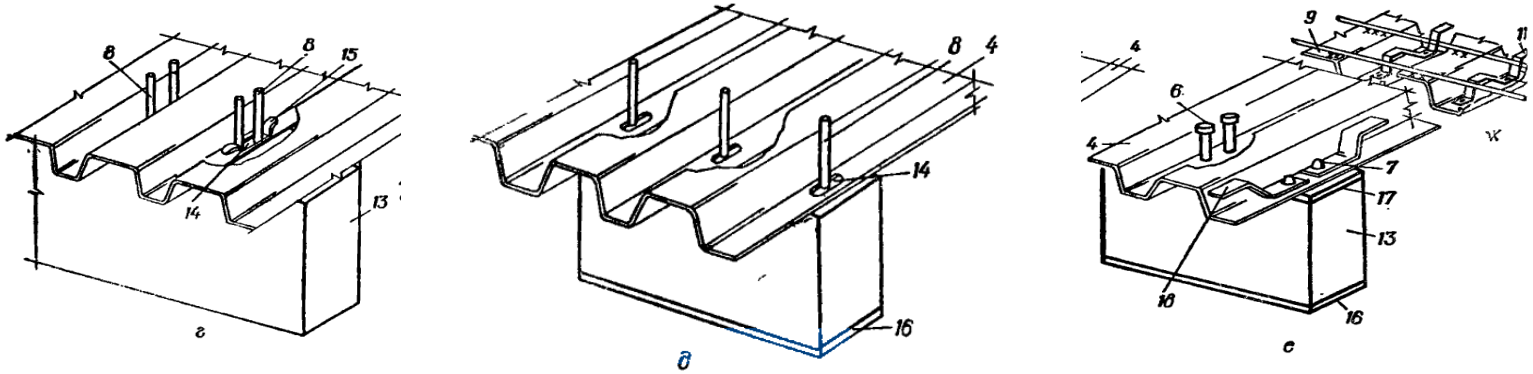
# Опирание на бетонные и обетонированные элементы




**Опирание на монолитную балку с листовым армированием**




**Опирание на бетонную стену**




**Опирание на сборные ж/б ригели с листовым армированием и без него**

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

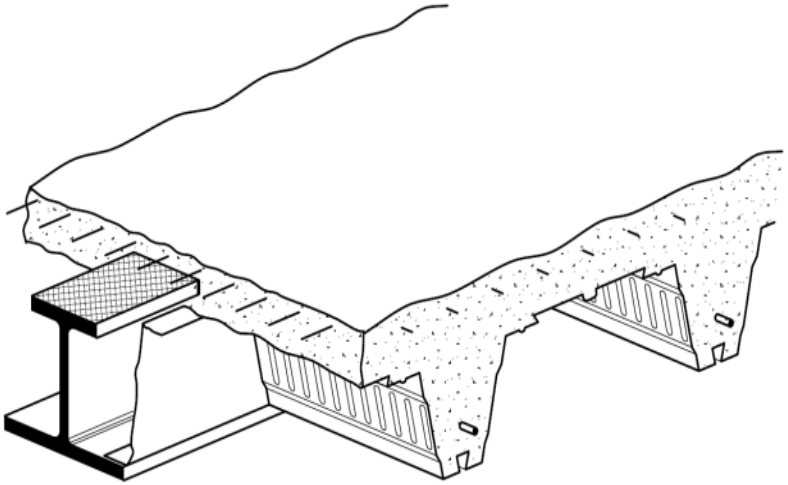
# Перекрытия пониженной высоты

**Перекрытия пониженной высоты (shallow floor)** – особый тип сталежелезобетонных и комбинированных перекрытий, который создан с целью реализовать **два принципа**:

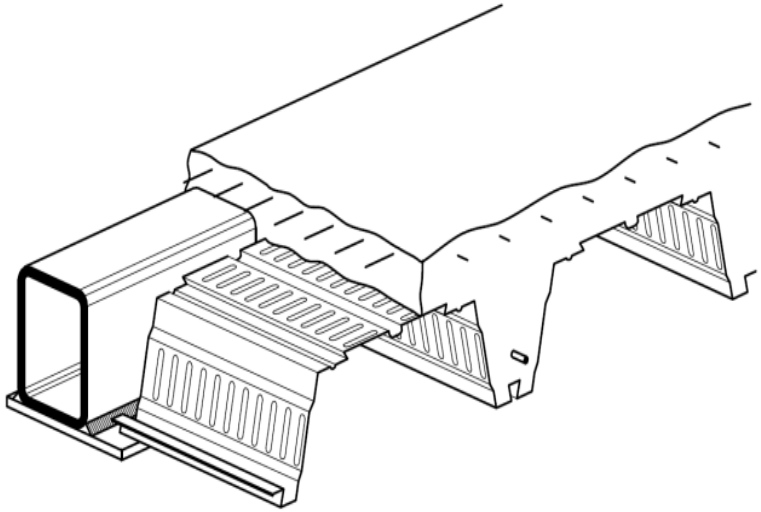
1. **строительная высота перекрытия в переделах 400мм;**

2. **повышение предела огнестойкости до 60 мин без дополнительных мероприятий.**

Для этого плита перекрытия размещается в створе балок и опирается на столик, функцию которого, как правило, выполняет нижний более широкий пояс моносимметричного двутавра либо приваренный опорный элемент (пластина, уголок),



**Типовая промежуточная балка перекрытия пониженной высоты**

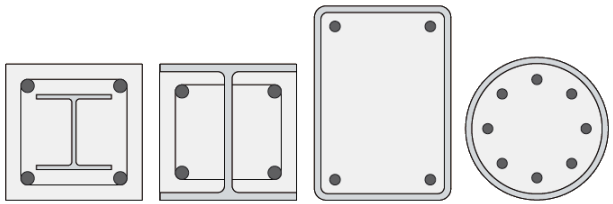


**Крайняя балка перекрытия пониженной высоты из прямоугольной трубы**

# Особенности расчета колонн (Еврокод 4)

**Расчетное сечение:**

Следует учитывать характер приложения нагрузок к и их перераспределение, поскольку в работу, особенно в опорных частях, может включаться не вся колонна.



**Стадии:**

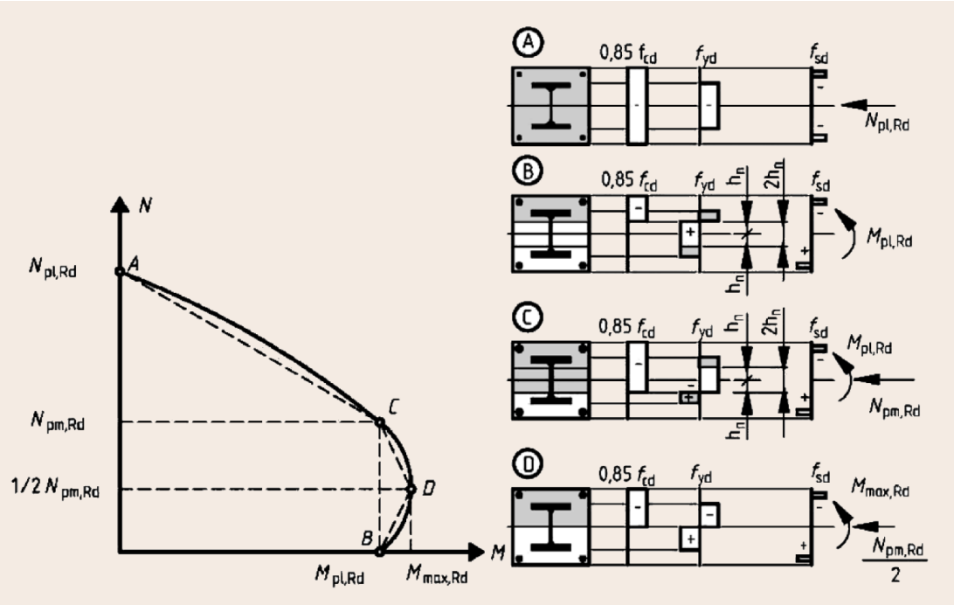
- Расчет на этапе эксплуатации.

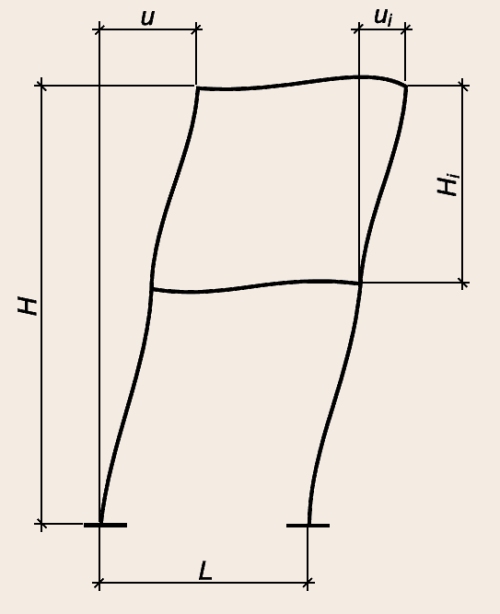
**1-я группа предельных состояний:**

- прочность критических поперечных сечений;
- общая потеря устойчивости;
- местная потеря устойчивости;
- сдвиговое соединение и приложение нагрузки;

**2- группа предельных состояний:**

- предельные перемещения;

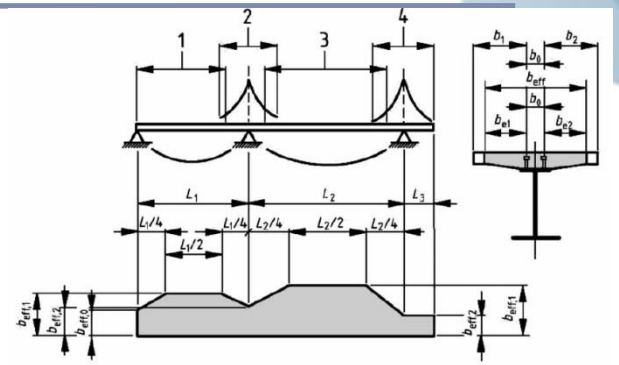



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Особенности расчета балок (Еврокод 4)

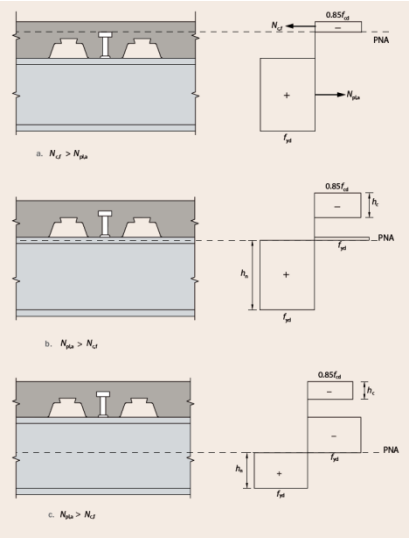
**Расчетное сечение:**
Рекомендуется не превышать ограничения для Класса 1 и 2 сечений, а также Класса 3 сечений с эффективными стенками.

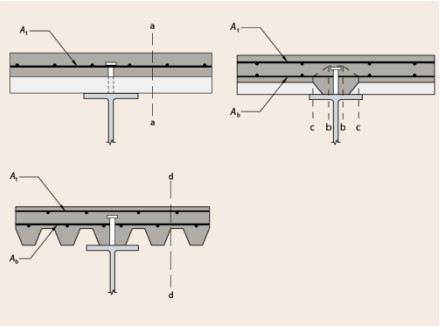


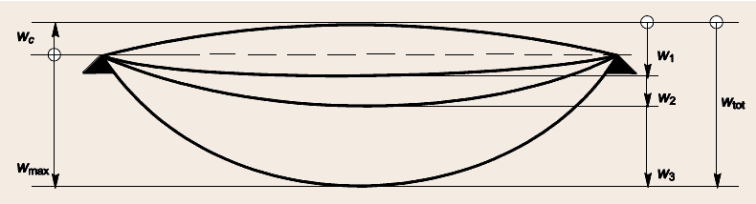
**Стадии:**
- Расчет на этапе монтажа;
- Расчет на этапе эксплуатации.

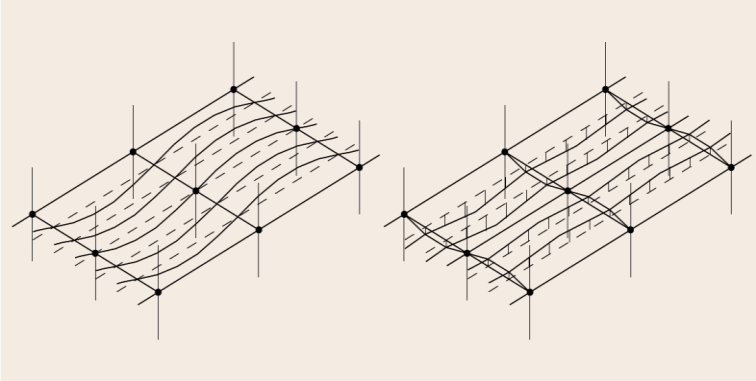
**1-я группа предельных состояний:**
- прочность критических поперечных сечений;
- устойчивость плоской формы изгиба;
- устойчивость при сдвиге и прочность стенки на действие поперечных сил;
- прочность на продольный сдвиг.

**2- группа предельных состояний:**
- предельные перемещения;
- колебания;
- трещинообразование.





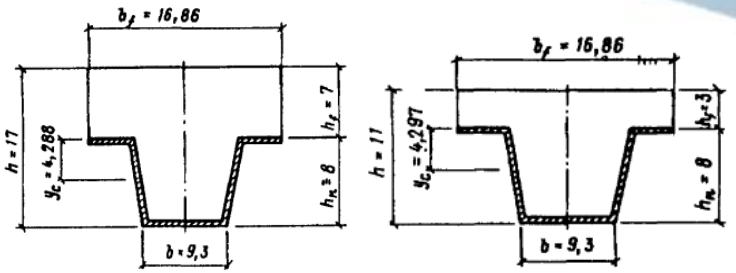




УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# Особенности расчета плит (Еврокод 4)

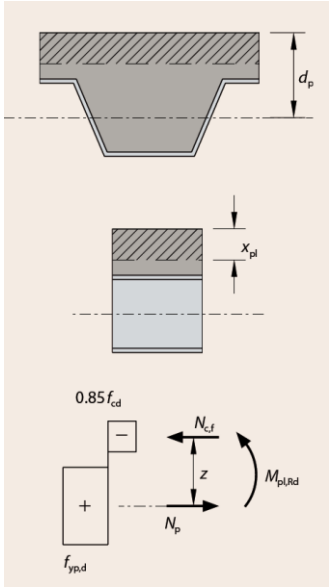
**Расчетное сечение (на примере Н80А-674):**
При работе только в направлении ребер.
Профнастил рекомендуется ориентировать широкими полками гофра вниз.

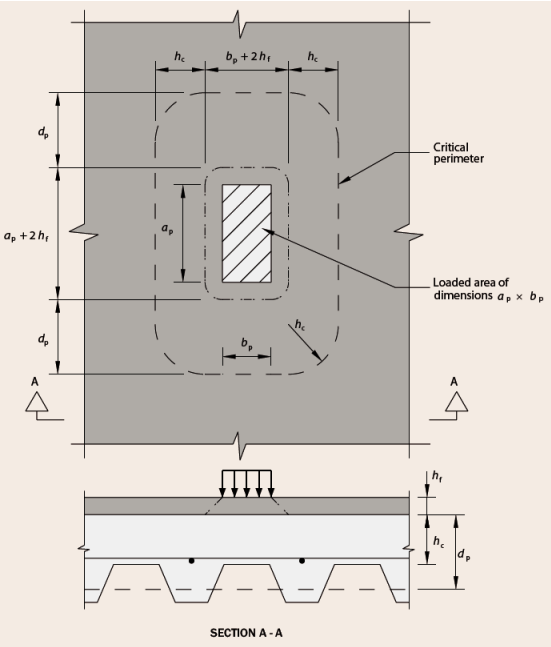


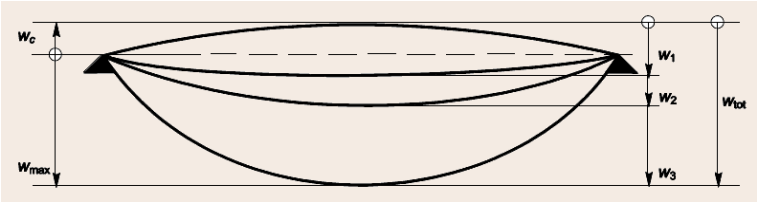

**Стадии:**
- Расчет на этапе монтажа (профнастил);
- Расчет на этапе эксплуатации (плита).

**1-я группа предельных состояний:**
- прочность критических поперечных сечений;
- продавливание;
- прочность вертикальный сдвиг;
- прочность на продольный сдвиг.

**2- группа предельных состояний:**
- предельные перемещения;
- трещинообразование.




УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

# СПАСИБО!

www.uscc.ua | +38-044-590-01-56

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА