

Кафедра «Металлические и деревянные конструкции»
курс «Металлические конструкции», 1 ч.

Лекция № 11. «Расчёт балок настила».

Лектор ст. преподаватель кафедры «МиДК»
Крайнов Андрей Викторович

Расчёт балок настила

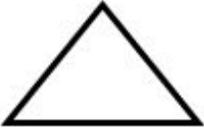
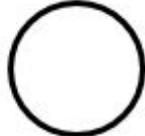
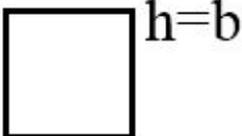
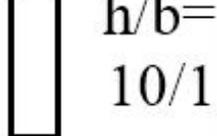
В балочной площадке нагрузка на настил передается на балки настила. Как отмечалось ранее предпочтительно применять в качестве балки настила прокатный двутавр (ранее в лекциях было показано преимущество двутаврового сечения при работе на изгиб относительно других сечений).

Кроме "сопроматовской теории" двутавры имеют ещё и конструктивное преимущество: нижняя грань полки двутавра позволяет легко размещать их на нижней конструкции и ширина полки обеспечивает равномерную передачу давления. Ровная верхняя полка позволяет разместить лист настила и (ГЛАВНОЕ!!!) ширина полки позволяет "двигать" лист для нормального размещения и приварки.

Но если лист настила прикручивается или пристреливается заклепками, то полка двутавра не очень подходит из за большой вероятности попасть на стенку двутавра. В таких случаях применяют или широкополочный двутавр или швеллер (реже профильную трубу).

Расчёт балок настила

Сравнительная характеристика различных фигур при одинаковой площади

Показатель		Фигура			 $h=b$	 $h/b=10/1$	 №16	 №16
		Площадь, в см ²			20	20	19,98	19,88
Высота, в см.			6,325	5,046	4,47	14,1	16	16
Момент инерции, в см ⁴			44,45	31,82	33,3	329,4	823	873
Момент сопротивления, в см ³			10,54	12,61	14,89	46,72	103	109
Коэффициент эффективности сечения, приведённый к двутавру	По J		0,051	0,036	0,038	0,377	0,942	1
	По W		0,097	0,116	0,137	0,429	0,945	1

Расчёт балок настила

Т.к. балка настила и сам настил образуют конструктивную пару, то и расчёт производят совместно. Обычно проектировщик задаётся толщиной настила по заданной нагрузке на настил и определяет максимальный пролёт настила.

$$l_n \leq \frac{4 \cdot n_0 \cdot t_n}{15} \left(1 + \frac{72 \cdot E_1}{n_0^4 \cdot q_{вр}} \right)$$

Это расстояние часто называют максимальный **теоретический шаг** балок настила a_t

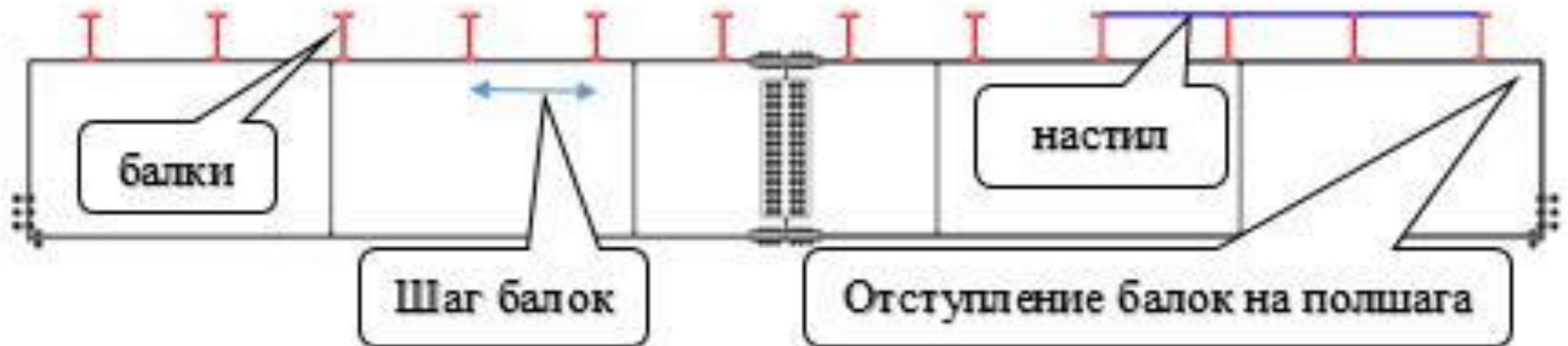
Учитывая, что пролёт настила (шаг балок настила) обычно менее 1 м, то n_0 принимается равным 120. Толщиной можно задаться предварительно по таблице.

	10	15	20	25	30	35	40	45	50
120	6	6	6	7	8	9	10	11	12
150	6	8	10	12	14	16			

Расчёт балок настила

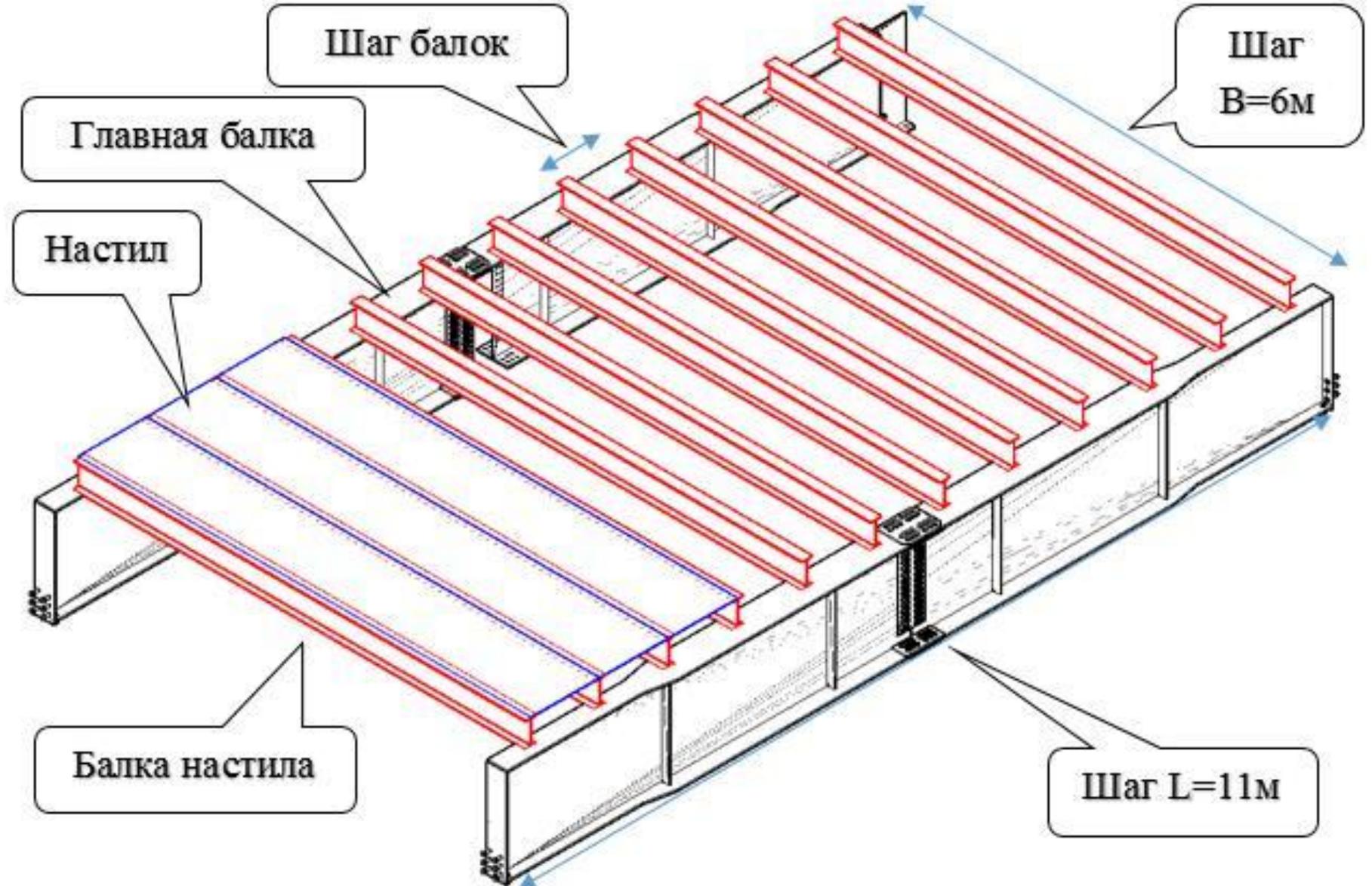
Для равномерной нагрузки балок настила (БН) логично предположить, что нагрузка на них должна быть одинаковая, а это можно добиться только равномерно расставляя БН по нижележащим конструкциям. Т.к. нижняя конструкция имеет конкретную длину, то можно БН равномерно разместить на ней.

Обычно БН размещают на главной балке, которая из-за большой длины имеет по середине стык. Поэтому при установке устанавливают чётное кол-во балок, которое не мешает стыку.



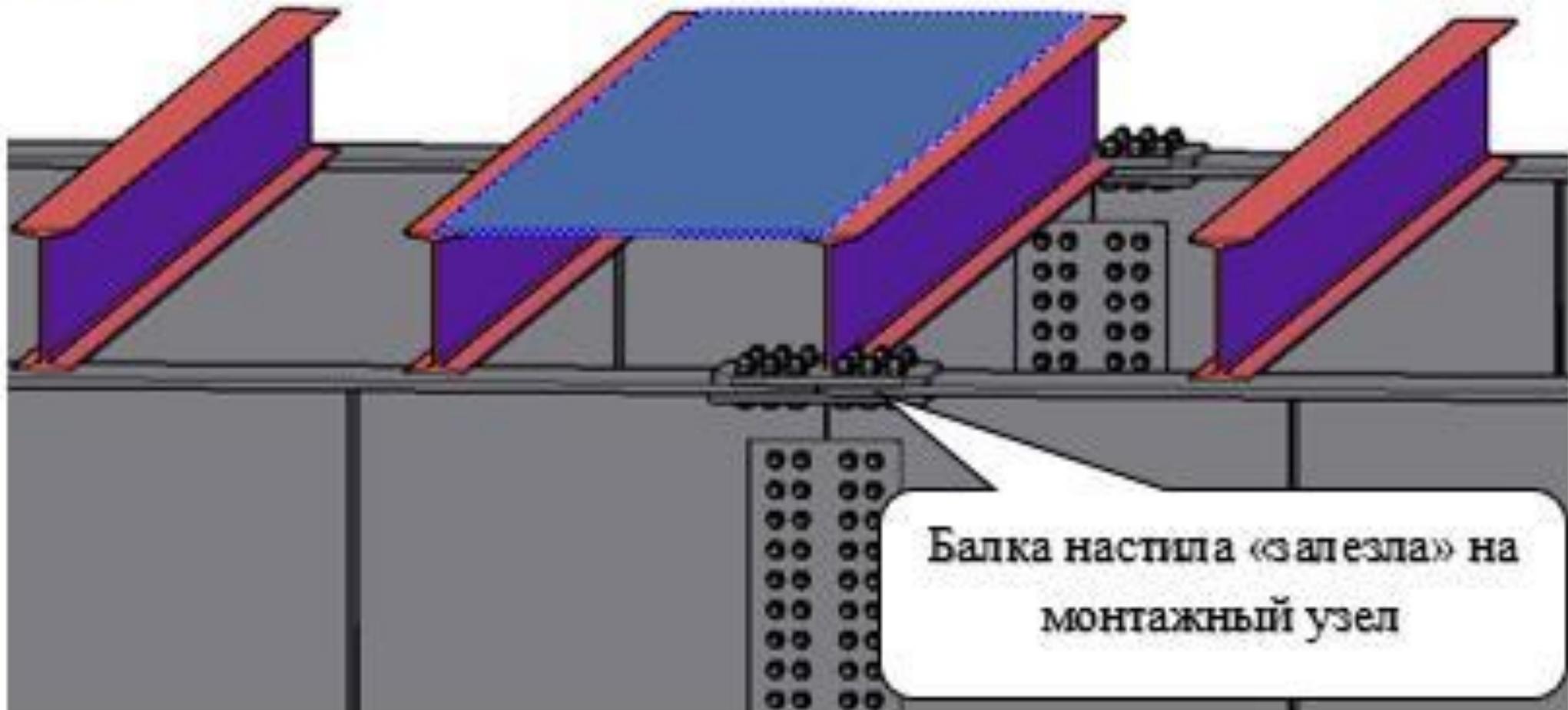
Расчёт балок настила

Пример:
ячейка 11x6 м.



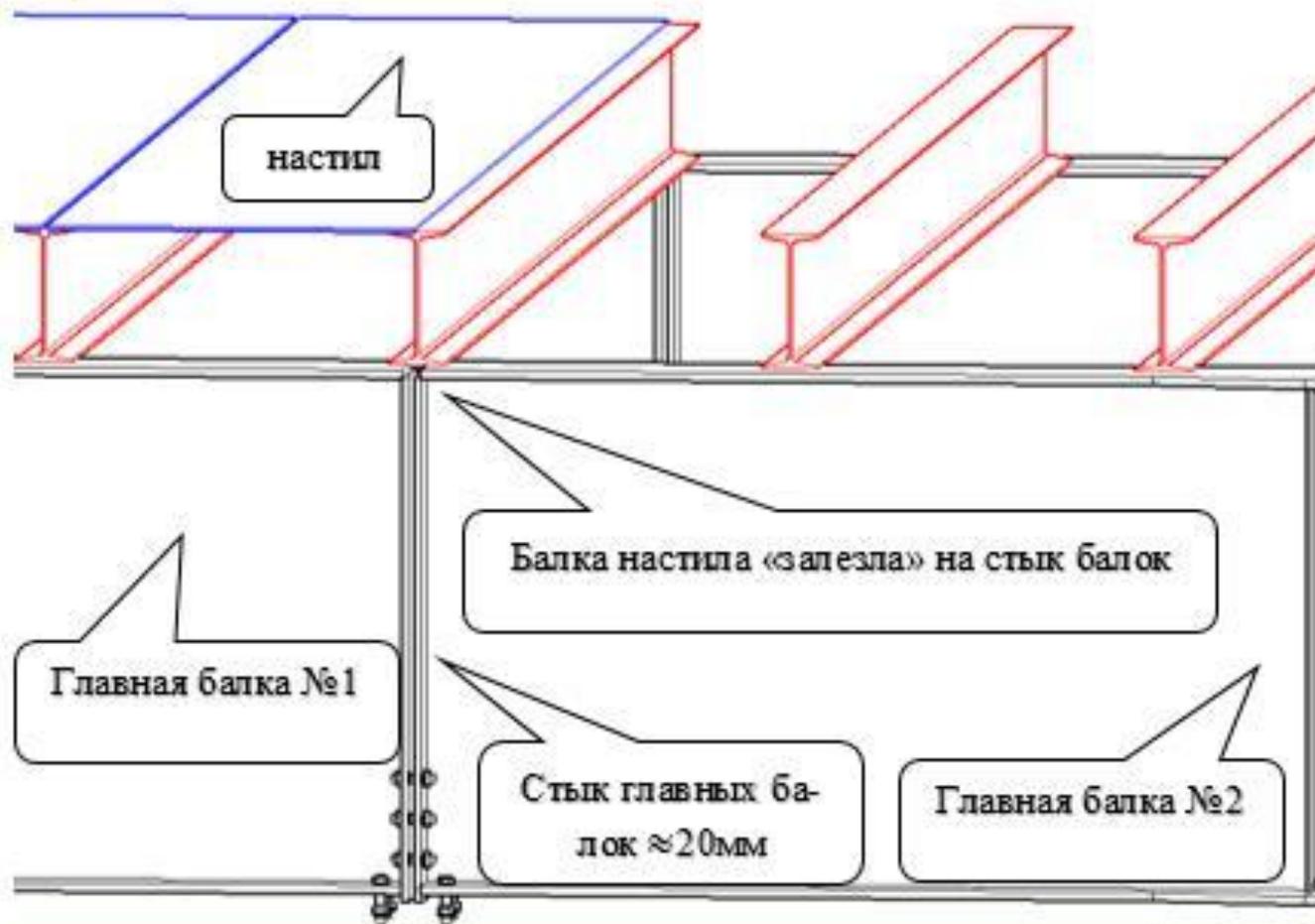
Расчёт балок настила

При компоновке нечётного количества балок, проектировщик столкнётся с проблемой наложения конструкций.



Расчёт балок настила

Если стыка на ниже лежащих конструкциях нет, то при нечётном шаге балок может возникнуть ситуация по неправильному размещению БН на стыках ниже лежащих конструкциях.



Расчёт балок настила



Расчёт балок настила

Итак, зная, что количество балок должно быть чётным числом (или по другому количество пролётов настила должно быть чётным), проектировщик вычисляет количество этих шагов и корректирует шаг балок (L - длина нижележащей конструкции).

$$\frac{L}{l_n} = \frac{L}{a_k} \rightarrow \text{получаем шаг балок}$$

Полученное число скорее всего будет не целым. Округляем до целого, в большую сторону до чётного числа. Далее вычисляем конструктивных шаг балок настила, который и будет у нас в дальнейшем основным размером.

$$a_k = \frac{L}{\text{кол} - \text{во шагов}}.$$

Для точного расчёта и черчения обычно шаг вычисляют до мм.

Расчёт балок настила

Полученный конструктивный шаг требует анализа. При небольшом значении (менее 600-800 мм) в дальнейшем может получиться, что балка настила "залезет" на накладку стыка, которая редко бывает меньше 500 мм.



Расчёт балок настила

Установив окончательный конструктивный шаг балок настила, приступают к сбору нагрузок на балку. На балку действует полезная нагрузка (по заданию), вес настила и собственный вес самой балки, который учитывается коэффициентом $\alpha=1,01$ при пролёте менее 3 м, $\alpha=1,02$ при пролётах от 3 до 6 м и $\alpha=1,03$ при пролёте более 6 м. При вычислении различают нормативные и расчётные нагрузки.

Нормативная погонная нагрузка на балку настила

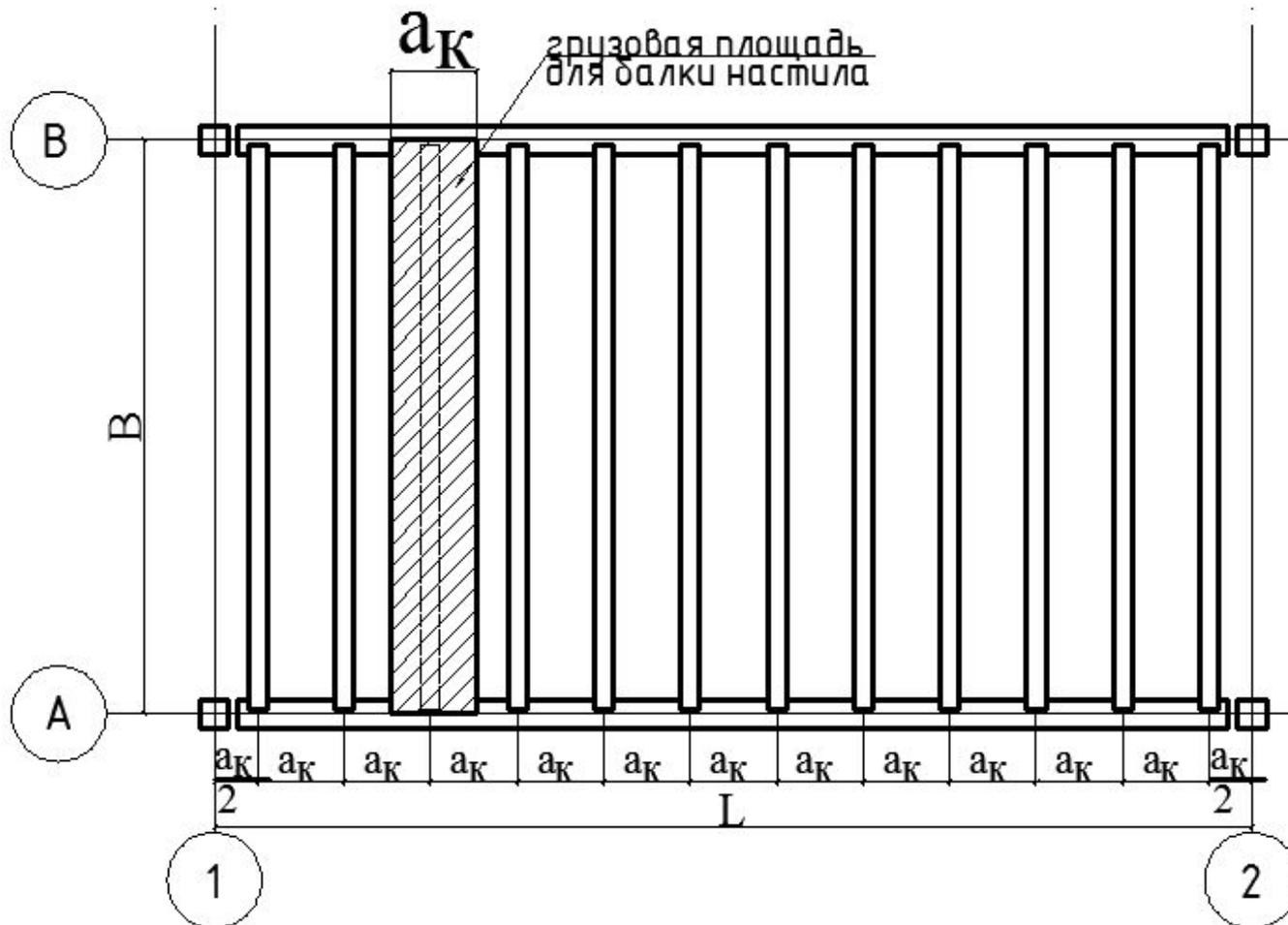
$$q_n = \alpha \cdot \sum_i (\text{вес вышележащих конструкций})_i \cdot a_k$$

Расчётная погонная нагрузка

$$q_r = \alpha \cdot \sum_i \left((\text{вес вышележащих конструкций})_i \cdot \gamma_{f,i} \right) \cdot a_k$$

Расчёт балок настила

В проектировании одно из важных проблем является правильное определение грузовой площади рассчитываемой конструкции. Для БН в площадке норм. типа грузовой площадью равна шагу балок при пролёте B .



Расчёт балок настила

Учитывая, что БН, как правило, шарнирно опирается на опорах, то максимальный изгибающий момент вычисляется по формуле

$$M_{б.н.} = \frac{q_r \cdot L^2}{8}$$

Далее проектировщик проверяет прочность и жёсткость БН, задавшись номером прокатного профиля.

$$\frac{M_{б.н.}}{c_1 \cdot W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

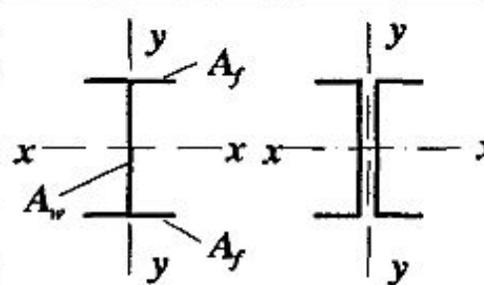
$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q_n \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot J_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \left[\frac{1}{n_0} \right]$$

В формулах приняты обозначения

γ_c - коэффициент условия работы балки на изгиб, принимаемый равным 0,9 как для балки сплошного сечения, если нет других условий;

Расчёт балок настила

$c_1 = c_x$ - коэффициент, учитывающий развитие ограниченных пластических деформаций в сечении балки. Принимается значение по таблице если обеспечена устойчивость и касательные напряжения в месте максимального момента не более $0,3R_y$;

Тип сечения	Схема сечения	$\frac{A_f}{A_w}$	Наибольшие значения коэффициентов		
			c_x	c_y	n при $M_y = 0^*$
I		0,25	1,19	1,47	1,5
		0,5	1,12		
		1,0	1,07		
		2,0	1,04		

R_y - расчётное сопротивление изгибу, определяемое с учётом толщины полки прокатного сечения;

Пролёт, в м.	>1	3	6	12	24
Значение n_0	120	150	200	200	250

Расчёт балок настила

Часто на практике поступают наоборот: из предыдущих формул прочности и жёсткости выражают требуемый момент сопротивления W и момент инерции J , задавшись $c_1=1,05\dots 1,1$.

Далее по сортаменту находят подходящий прокатный двутавр с $W_x \geq W_{tr}$ и $J_x \geq J_{tr}$

Зная по расчёту какой прокат был принят, проводят уточняющую корректировку коэффициента, учитывающий пластичность c_1 , для этого вычисляют отношение площади полки к площади стенки

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{t_f \cdot b_f}{t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)}$$

По таблице СП, приняв значение c_1 проводят окончательную проверку прочности

$$\frac{M_x}{c_1 \cdot W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

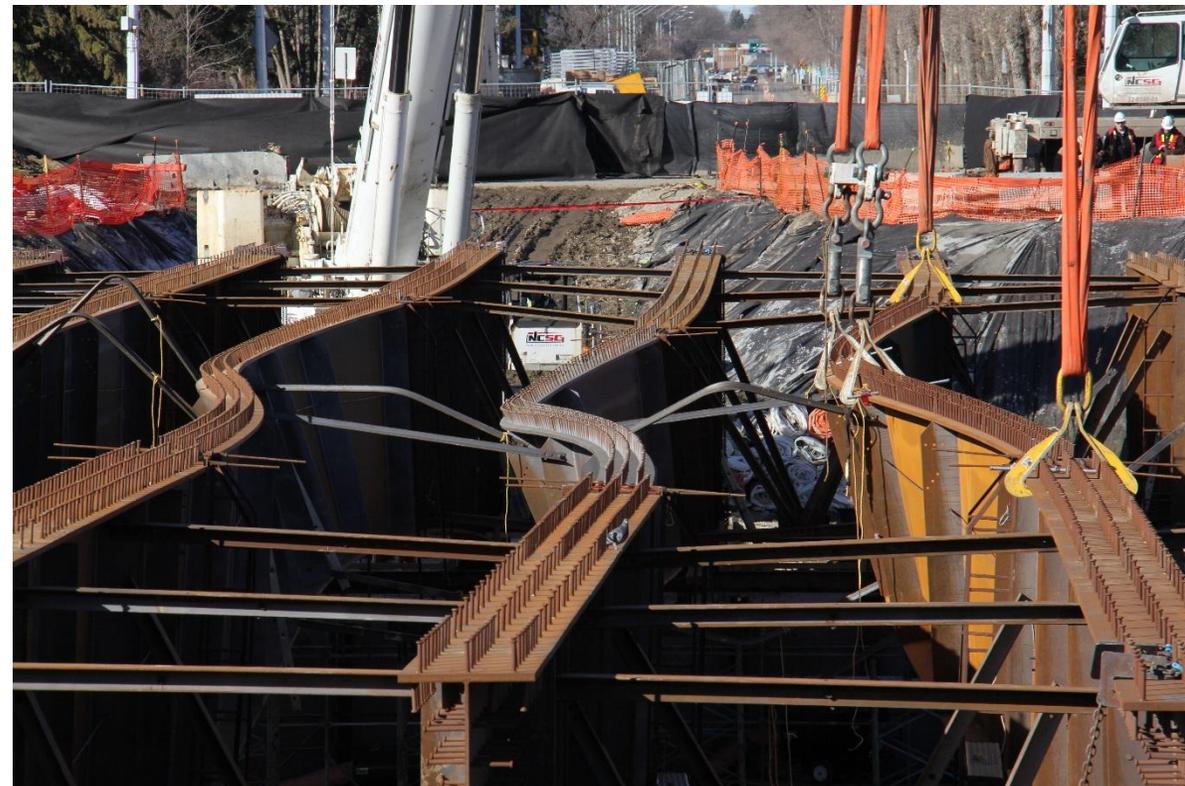
Расчёт балок настила

Далее проектировщик делает расчёт на общую устойчивость БН.

Если настил жёстко приварен к балки настила, то балка не может отклониться от своей оси и она как бы "распёрта" из плоскости и соответственно не сможет отклониться и потерять устойчивость. В таком случае расчёт ни какой не производят. Но если нет закрепляющих элементов, то балка может потерять устойчивость.

Необходимо отметить, что проверяется только общая устойчивость. Местная устойчивость полок и стенок прокатных двутавров обеспечена при изготовлении необходимой толщиной.

Из за большой толщины стенки расчёт на касательные напряжения не производится.



Расчёт балок настила

Проверка сводится к выполнению условия устойчивости

$$\frac{M_x}{\varphi_b \cdot W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где φ_b – коэффициент устойчивости при изгибе.

Например, для двутавровой балки без распорок, загруженной равномерно распределённой нагрузкой вычисляется коэффициент $\alpha = 1,54 \cdot \frac{J_t}{J_y} \cdot \left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^2$, затем в зависимости от значения $\alpha < 40$ или $\alpha > 40$ вычисляют коэффициент $\psi = 1,6 + 0,08 \cdot \alpha$ или $\psi = 3,15 + 0,04\alpha - 2,7 \cdot 10^{-5}\alpha^2$ соответственно

Далее вычисляют

$$\varphi_1 = \psi \cdot \frac{J_y \cdot E}{J_x \cdot R_y} \cdot \left(\frac{h}{l_{ef}}\right)^2$$

Расчёт балок настила

При $\varphi_1 \leq 0,85$ принимают $\varphi_b = \varphi_1$. При $\varphi_b = 0.68 + 0.21\varphi_1$ при условии, что в любом случае φ_b должно быть меньше 1

Согласно норм проектирования проверку на устойчивость из плоскости можно не проводить если настил жёстко приварен к балке настила или выполняется условие:

$$\frac{l_{ef}}{b_f} \leq \left(0,35 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + (0,76 - 0,02 \frac{b_f}{t_f}) \frac{b_f}{h_0} \right) \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

Эту формулу можно применять если выполняется отношение

$$1 \leq \frac{h}{b_f} \leq 6 \text{ и } 15 \leq \frac{b_f}{t_f} \leq 35$$

(где t_f - толщина пояса балки настила; $h_0 = h_0 - t_f$ - межосевое расстояние между полками балки настила. Если $\frac{b_f}{t_f} < 15$ принимают $\frac{b_f}{t_f} = 15$.)

Расчёт балок настила

В условиях жёсткой экономии материалов, часто после расчёта конструктивного шага и номера проката балки уточняют толщину настила. Уменьшение возможно из за того, что в процессе расчёта проектировщик каждый раз снижает пролёт настила: теоретический шаг настила → конструктивный шаг → уменьшение пролёта за счёт ширины полки балки.

$$t_n \geq \frac{(a_k - b_f)}{\frac{4 \cdot n_0}{15} \left(1 + \frac{72 \cdot E_1}{n_0^4 \cdot q_n} \right)}$$

Как правило, экономия на толщине листа может быть 1-2 мм. Учитывая, что каждый миллиметр 1 м² весит около 8 кг., а площади балочных площадок обычно значительны (обычно несколько сотен квадратных метров), экономия только на настиле может быть несколько тонн.

Расчёт балок настила в площадке усложнённого типа

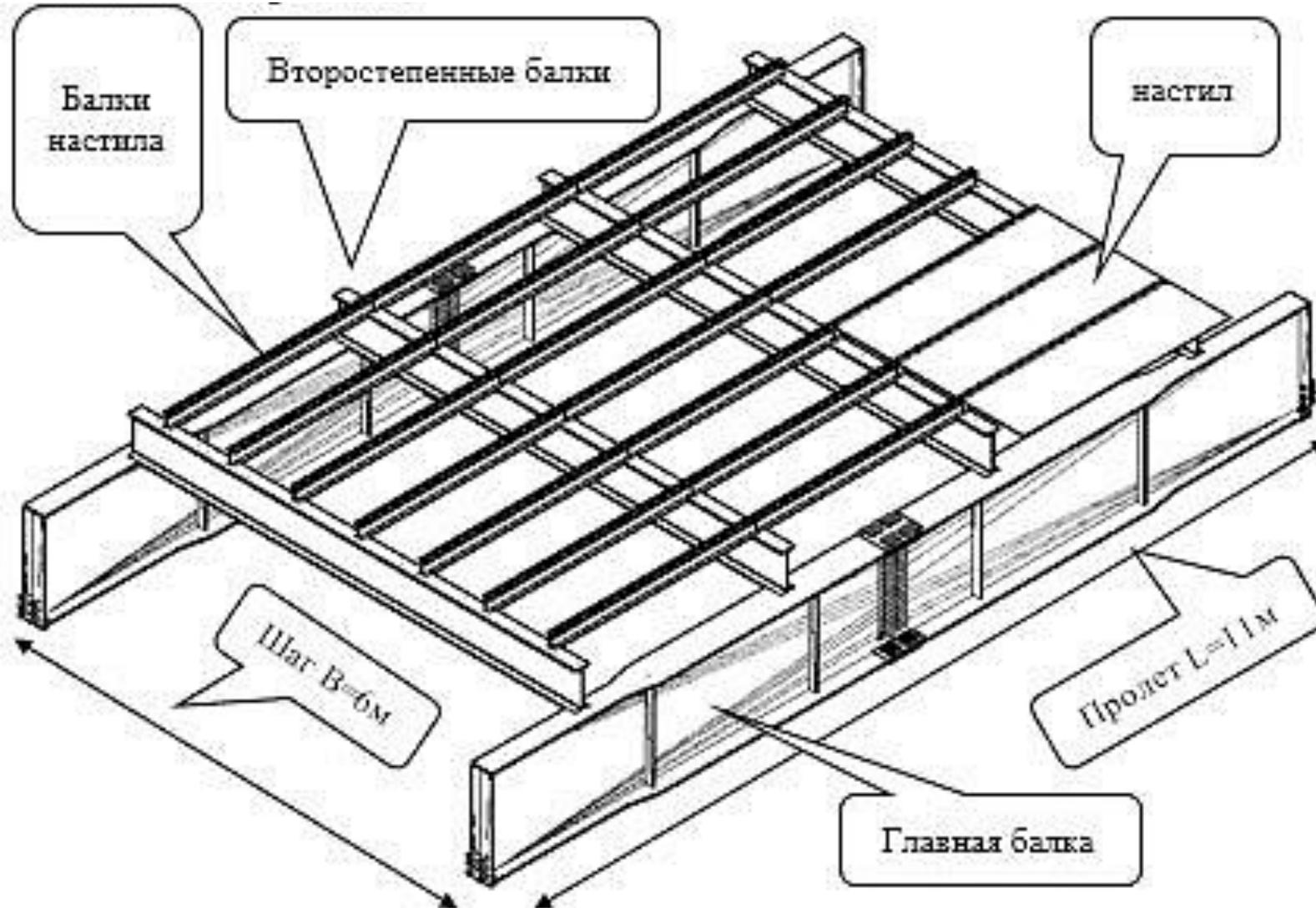
В балочной площадке усложнённого типа балка настила опирается на второстепенную балку, а она на главную. Шаг второстепенных балок (ВБ), как правило, принимается в пределах 2-4 м.

Проектирование балочной площадки усложнённого типа начинают с определения теоретического шага a_t балок настила по заданной нагрузке. Далее проводят расчёт кол-ва балок настила. В усложнённом типе необходимо помнить, что БН опирается на ВБ, которая как правило, выполнена из проката, пролётом V и без стыков в пролёте. Поэтому количество БН (пролётов настила) может быть как чётным, так и не чётным число!!!

Далее проводят компоновку (размещение) балок. Учитывая шаг второстепенных балок (в пределах 2-4 м) и что на нижележащей главной балке есть монтажный стык назначают ЧЁТНОЕ кол-во ВБ. Этот же шаг ВБ и будет пролётом для БН.

Расчёт балок настила в площадке усложнённого типа

Пример балочной площадки усложнённого типа с ячейкой 11x6 м.

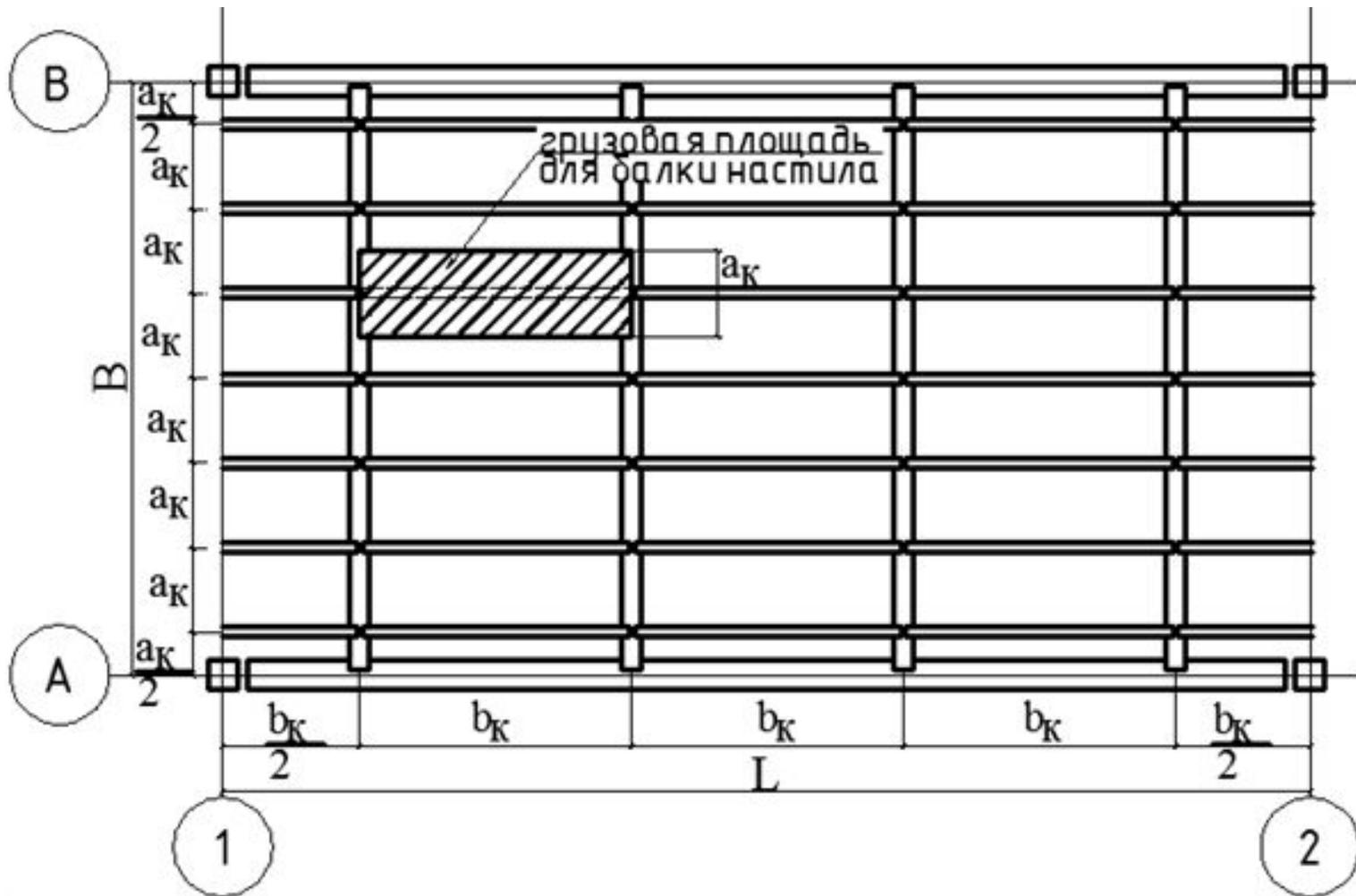


Расчёт балок настила в площадке усложнённого типа

Зная толщину (вес) настила, пролёт БН ($L_{\text{бн}} = b_{\text{к}}$), шаг БН ($a_{\text{к}}$), определяют грузовую площадь для балки настила.

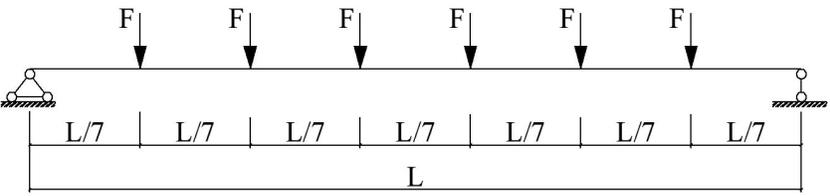
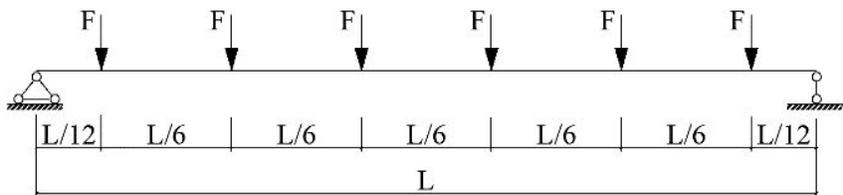
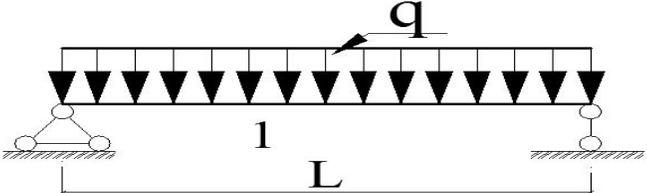
Далее ведут расчёт БН точно такой же расчёт, как в нормальном типе.

После подбора проката, часто проводится попытка оптимизировать толщину настила.



Расчёт второстепенных балок в площадке усложнённого типа

Расчёт ВБ проводится точно также как и расчёт БН. Но условие загрузки ВБ несколько иное и проектировщику, иногда, приходится проводить анализ расчётной схемы и выбрать по какой схеме вести расчёт: точная или приближенная. Например, ВБ загружена 6 балками настила. Обычно при опирании более 6 сосредоточенных сил, считают балку как загруженную равномерно распределённой нагрузкой.

Схема	Изгибающие моменты	Прогибы
		
		
		

Расчёт второстепенных балок в площадке усложнённого типа

Выбрав расчётную схему для нагружения ВБ, проводят расчёт по подбору проката. Можно задать прокат и проверить его на прочность и жёсткость, а можно выразить из этих условий требуемые геометрические характеристики.

$$W_{tr} \geq \frac{M_x}{c_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c}$$

(c_1 предварительно принимают равным 1,12)

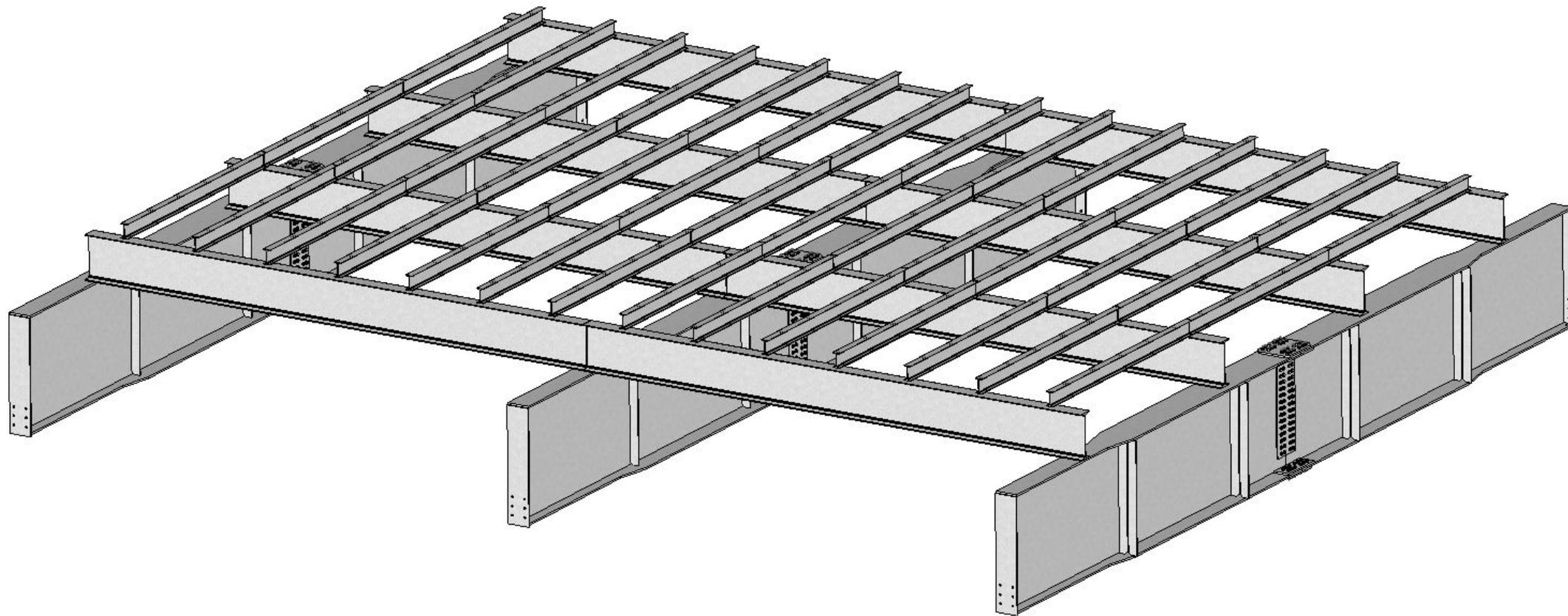
$$J_x \geq \frac{5 \cdot q_n \cdot B^3 \cdot n_0}{384 \cdot E}$$

Подобрав по требуемым моменту сопротивления W и моменту инерции J прокатный профиль, необходимо уточнить коэффициент c_1 и проверить условие прочности.

$$\frac{M_{б.н.}}{c_1 \cdot W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Расчёт второстепенных балок в площадке усложнённого типа

В балочных площадках усложнённого типа при этажном сопряжении балка настила опирается сверху на второстепенную и это опирание не является жёстким. Поэтому ВБ может потерять устойчивость и необходимо делать соответствующую проверку.



Расчёт второстепенных балок в площадке усложнённого типа

Окончательное решение по площадкам нормального или усложнённого типа принимается обычно по массе: какой вариант легче – то и принимается.

$$m = t_n \cdot \gamma + \frac{\rho_{\text{б.н.}}}{a_k} + \frac{\rho_{\text{в.б.}}}{b_k}$$

где $\rho_{\text{б.н.}}$ и $\rho_{\text{в.б.}}$ – это погонный вес балок настила и второстепенных соответственно.

Если варианты по массе имеют не большое различие (менее 5%), то обычно принимают вариант с меньшим количеством балок.

Иногда, при дальнейшем расчёте, проектировщик может изменить тип площадки из за ряда показателей: нет возможности запроектировать узел (узлы) или нижележащую конструкцию.

Расчёт балок в площадке усложнённого типа

