

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

Лекция № 15. «Расчёт деталей главной балки».

Лектор ст. преподаватель кафедры «МиДК»
Крайнов Андрей Викторович

Расчёт поясных швов.

В главной балке пояса соединяются со стенкой или на сварке или с помощью болтового соединения. В любом случае, для расчёта, требуется определить участки с максимальными усилиями и численно определить эти усилия.

Для определения самого загруженного участка рассмотрим кинематику работы балки под нагрузкой.

Если бы не было закрепления стенки с поясами, то при изгибе пояса сместились бы относительно стенки (а). Сварные швы (болты) препятствуют этому и в соединении образуются срезающие касательные напряжения (б). Наибольшие сдвигающие усилие T будет на опоре (в).

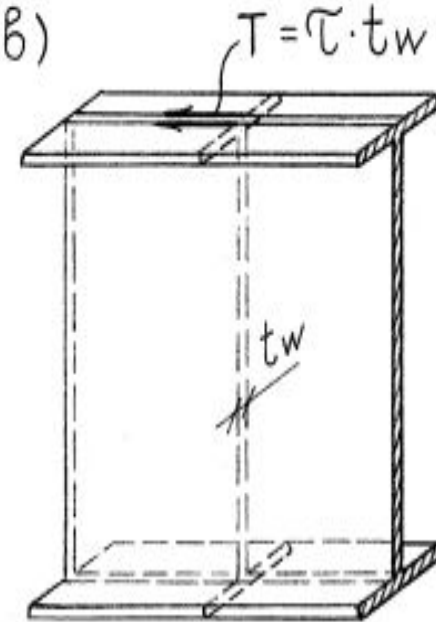
а)



б)



в)



Расчёт поясных швов.

Наибольшее сдвигающее усилие T , приходящееся на 1 ед. длины балки, определяется по наибольшей поперечной силе Q_{max} :

$$T = \tau \cdot t_w = \frac{Q_{max} \cdot S_{f1}}{J_1}$$

где

S_{f1} - статический момент пояса уменьшенного сечения балки относительно нейтральной оси

$$S_{f1} = b_{f1} \cdot t_f \cdot \frac{h_0}{2}$$

Рассмотрим расчёт соединения пояса со стенкой на сварке. Зная максимальное сдвигающее усилие в шве определяют катет шва (необходимо учитывать, что швы выполняют автоматической системой сварки).

Шов может быть односторонним или двухсторонним (зависит от дальнейшего расчёта и нагрузки на балку)

Расчёт поясных швов.



Расчёт поясных швов.

Расчёт ведут на прочность по металлу шва (для одностороннего шва)

$$k_f \geq \frac{T}{\beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

И по металлу границы сплавления

$$k_f \geq \frac{T}{\beta_z \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c}$$

Все необходимые коэффициенты и расчётные значения $\beta_f, \beta_z, R_{wf}, R_{wz}$ принимают по соответствующим таблицам СП 16.133300, с учётом выполнения сварки автоматом.

Если выполнятся двусторонний шов, то усилие в формуле уменьшают в два раза.

Расчёт поясных швов.

Окончательное решение о высоте катета принимают с учётом ограничений по минимуму и максимуму катета по СП 16.13330. Часто при больших запасах (было ограничение по минимальному катету) оставляют односторонний шов, а при больших расчётных значениях переходят на двусторонний.

!!!Также кол-во швов (односторонний или двухсторонний) надо учитывать при проверки местной устойчивости стенки!!!

Приняв окончательное решение о высоте шва, проектировщик проверяет работу шва при одновременном воздействии сдвигающих сил и от сосредоточенной нагрузки от балок настила, находящихся в опорной зоне. Такая проверка не производится если локальная нагрузка или вообще отсутствует (сплошное опирание настила на пояс) или находится дальше 1 м от опоры.

Расчёт поясных швов.

Проверка производится:

- по металлу шва

$$\frac{\sqrt{T^2 + V^2}}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} \leq 1$$

- по металлу границы сплавления

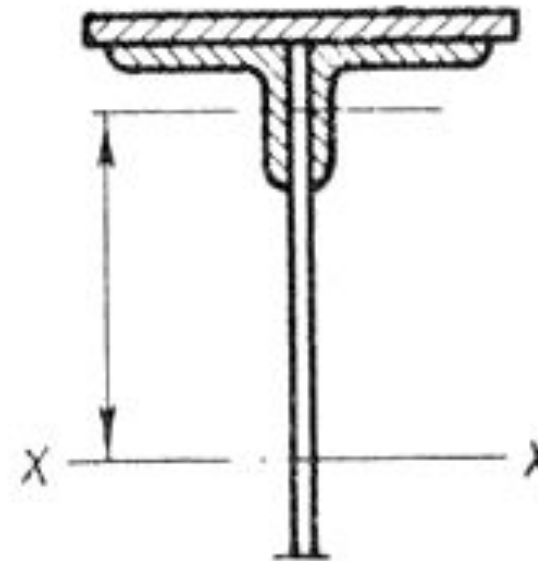
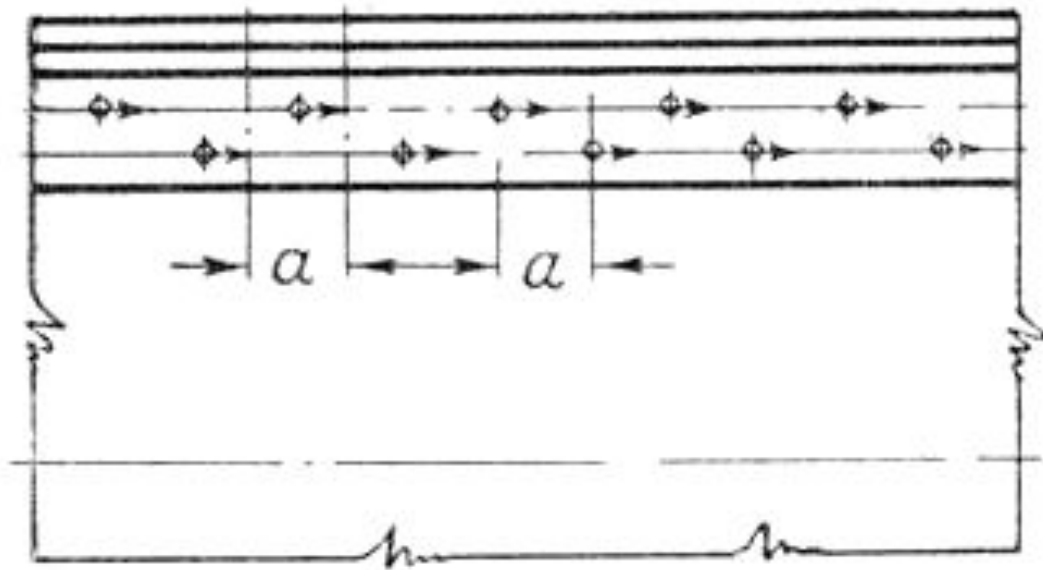
$$\frac{\sqrt{T^2 + V^2}}{\beta_z \cdot k_f \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где

$V=G_{loc}$ - давление (локальное напряжение) от сосредоточенного груза (балки настила).

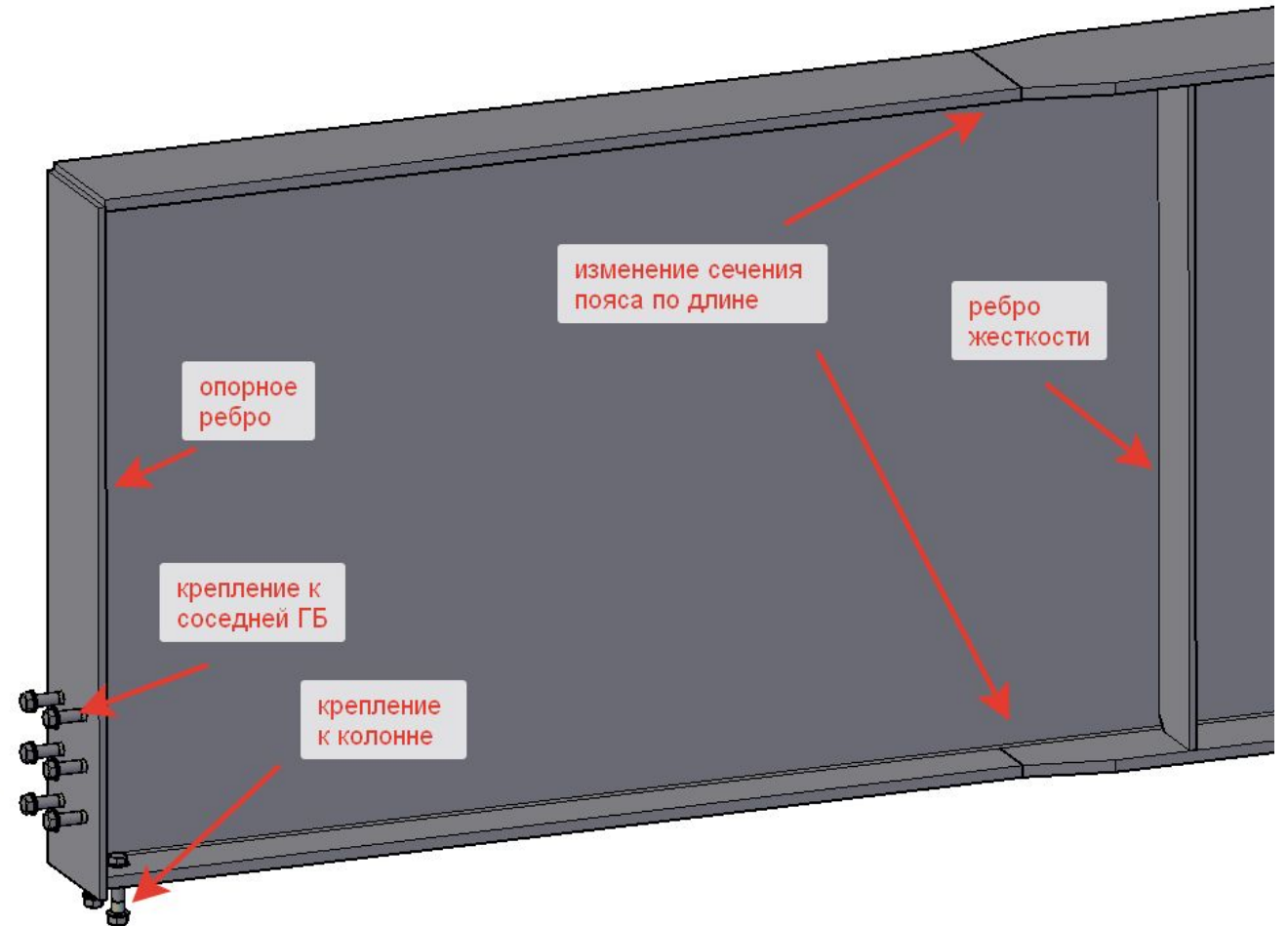
Расчёт поясных швов на болтах.

Соединении поясов с стенкой на болтах (заклёпки) осуществляется через вспомогательные элементы (чаще всего уголок). При размещении болтов (заклёпок) в первую очередь обращают внимание на размещение болтов с учётом ограничений расстояний до граней и между собой согласно СП 16. Далее, назначив шаг (a), по максимальной сдвигающей силе определяют диаметр болта.



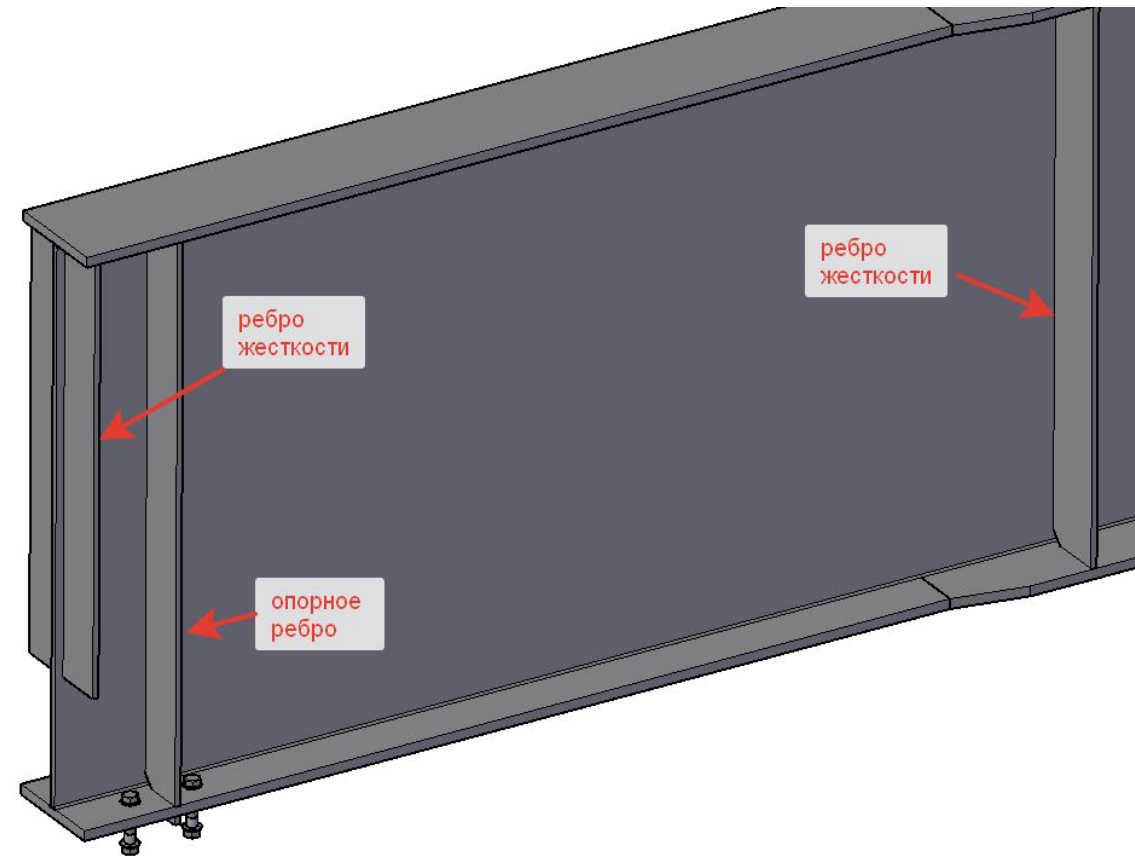
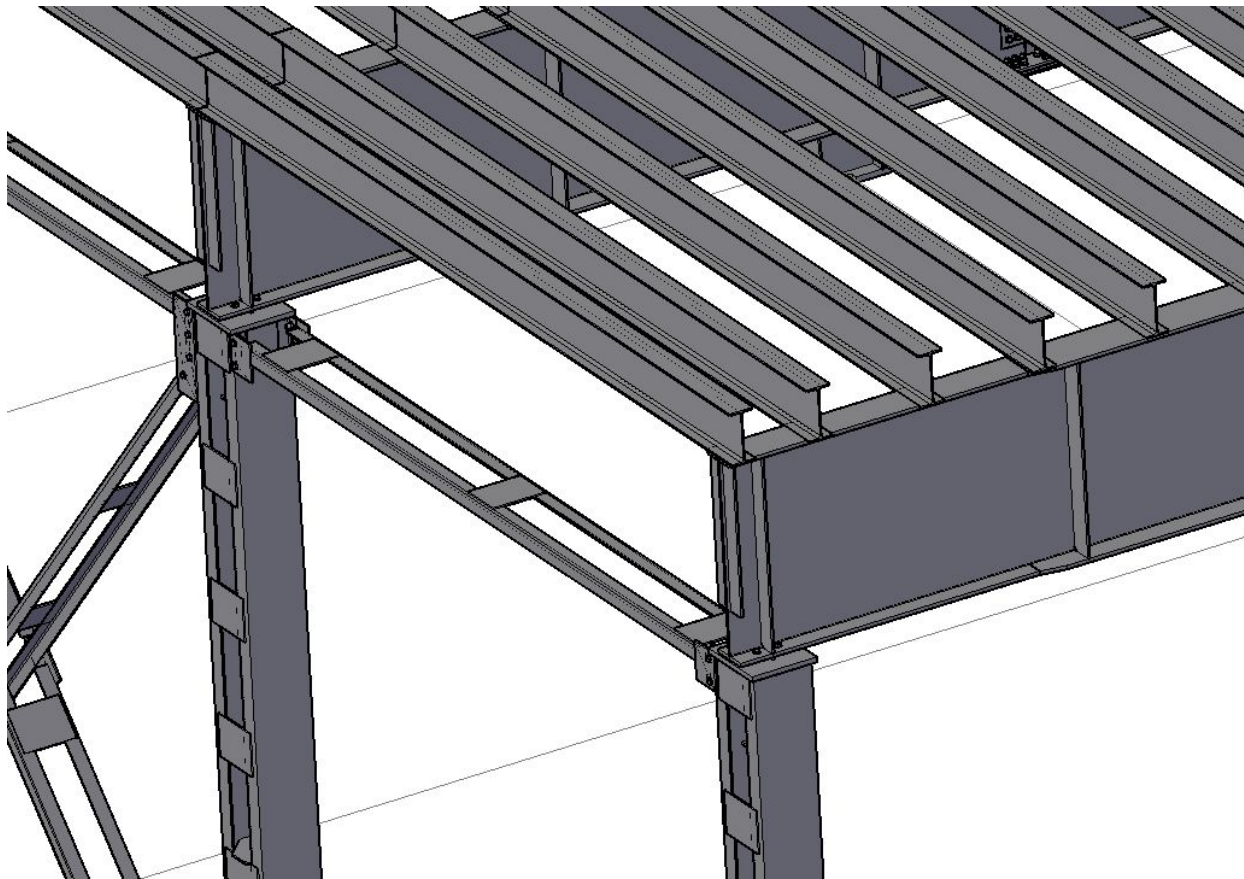
Расчёт опорной части.

Главная балка, как правило, опирается на колонну сверху через ребро, что и создаёт условие шарнирного опирания.

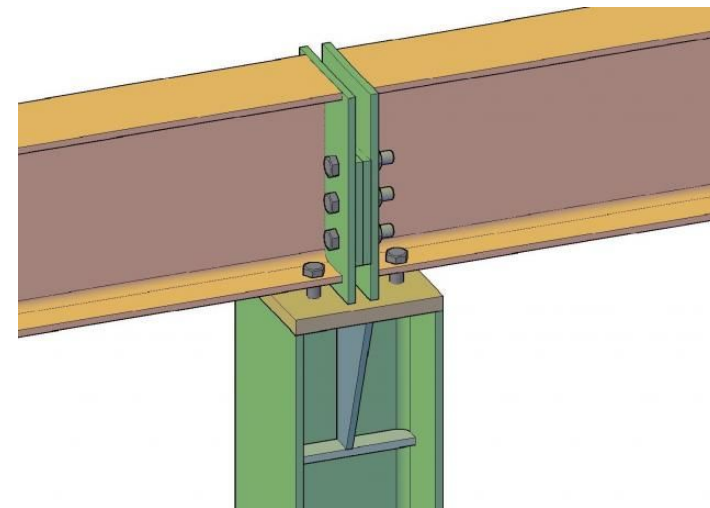
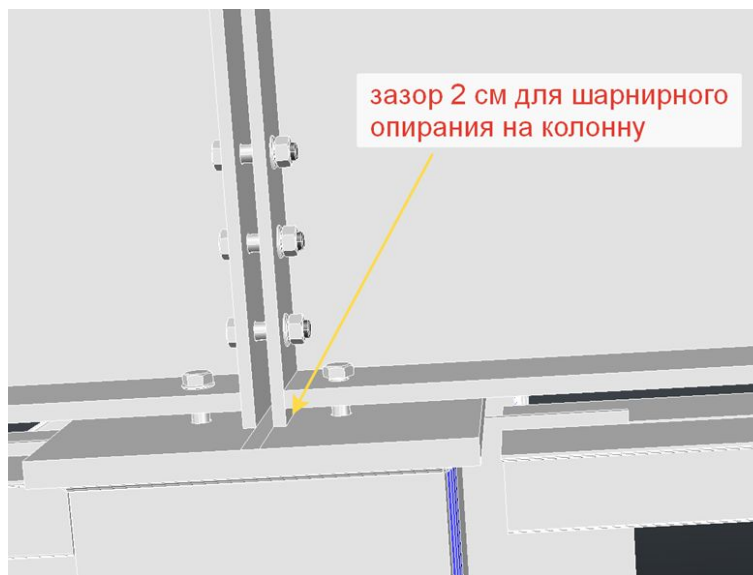
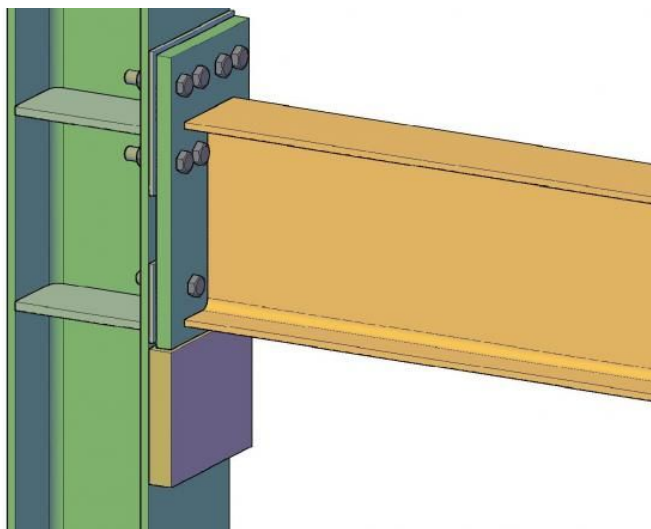
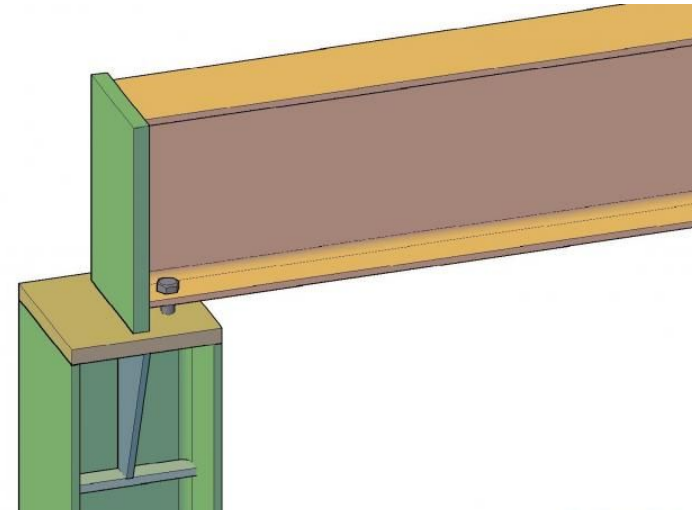
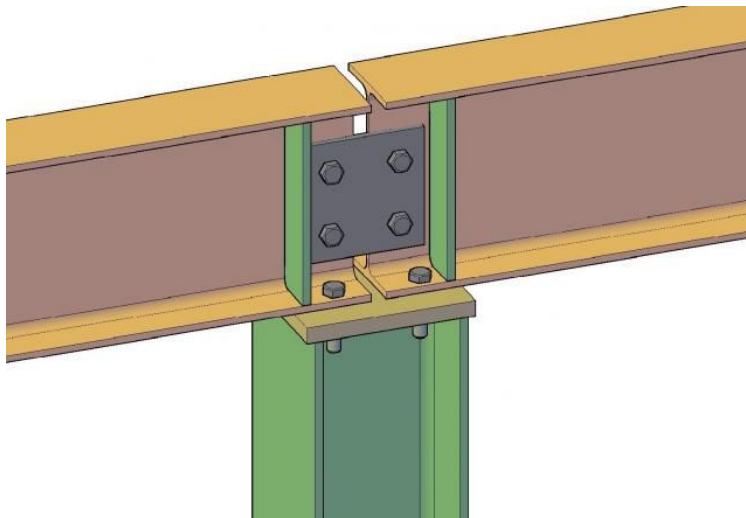
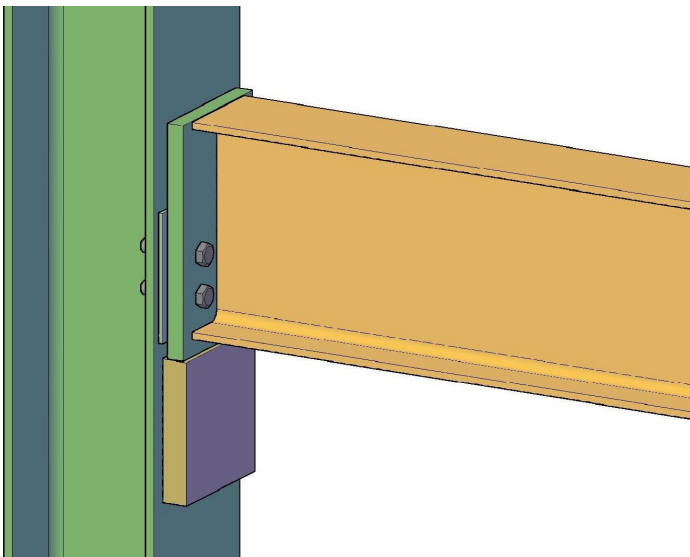


Расчёт опорной части.

В зависимости от условий конструирования примыкание главной балки к колоннам может быть сверху или сбоку. Опорное ребро может выполнено как с самого края ГБ, так и на некотором расстоянии от края главной балки.



Расчёт опорной части. Примеры



Расчёт опорной части.

При расчёте опорного ребра обычно сначала определяют какой тип сопряжения с нижележащими конструкциями будет и задаются одним из линейных размеров. Как правило это ширина ребра: если это ребро установлено с краю балки, то ширина ребра определяется по ширине пояса, а если нет — то определяют по расчёту ширины ребра жёсткости. Далее задаются высотой ребра: как правило, высота ребра определяется высотой балки плюс выступ ребра для опирания на нижележащую конструкцию. Этот выступ должен быть не более 1,5 толщины ребра, но пока толщина не назначено, то задаются примерно 15...20 мм. При дальнейшем расчёте считается, что часть стенки ГБ $(0,65t_w \sqrt{E/R_y})$ включается в расчёт и участвует в совместной работе.

Расчёт опорной части.

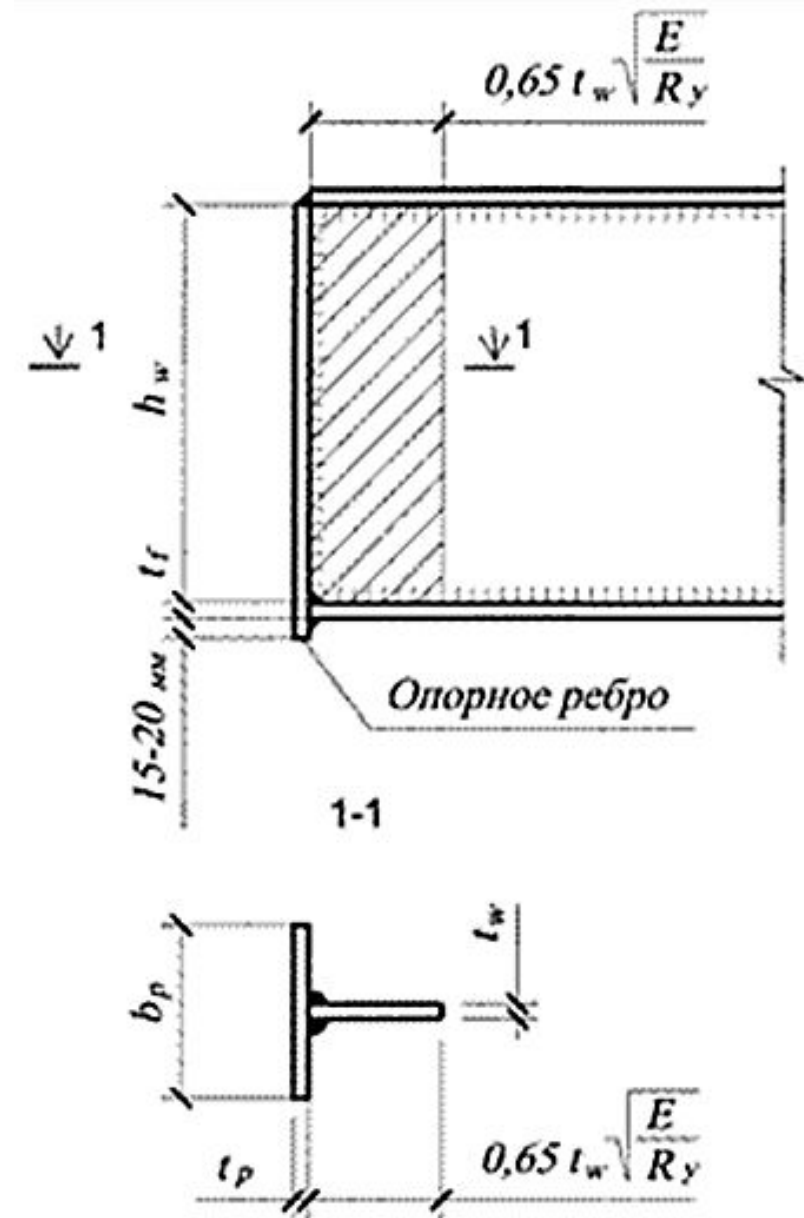
Требуемая площадь опорного ребра определяется из условия смятия торцевой поверхности от опорного давления

$$A_p \geq \frac{Q_{\text{опоры}}}{R_p}$$

где R_p - расчётное сопротивление стали смятию торцевой поверхности [СП 16.13330, табл. В.5].

По площади можно определить требуемую толщину ребра

$$t_r \geq \frac{A_p}{b_{f1}}$$



Расчёт опорной части.

Из условия местной устойчивости толщина ребра должна быть более

$$t_p \geq \frac{b_p}{\sqrt{E/R_y}}$$

Приняв по сортаменту на лист толщину ребра проводят проверку на общую устойчивость (считается, что ребро это вертикальный сжимающий стержень с шарнирным закреплением концов).

Для расчёта определяют площадь ребра с частью стенки главной балки, задействованной в совместной работе.

$$A_p = b_p t_p + 0,65 t_w^2 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

Расчёт опорной части.

А также определяют и другие геометрические характеристики:

Момент инерции ребра J_p , радиус инерции r и приведённую гибкость $\bar{\lambda}_p$

Проверка общей устойчивости сводится к

$$\frac{Q_{max}}{A_p \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый по СП16.133300

По принятым размерам ребра (толщине) и по толщине стенки назначают катет шва и проверяют прочность сварного шва (обычно приваривают с двух сторон).

- по металлу шва

$$\frac{Q_{max}}{2 \cdot \beta_f \cdot h_w \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} \leq 1$$

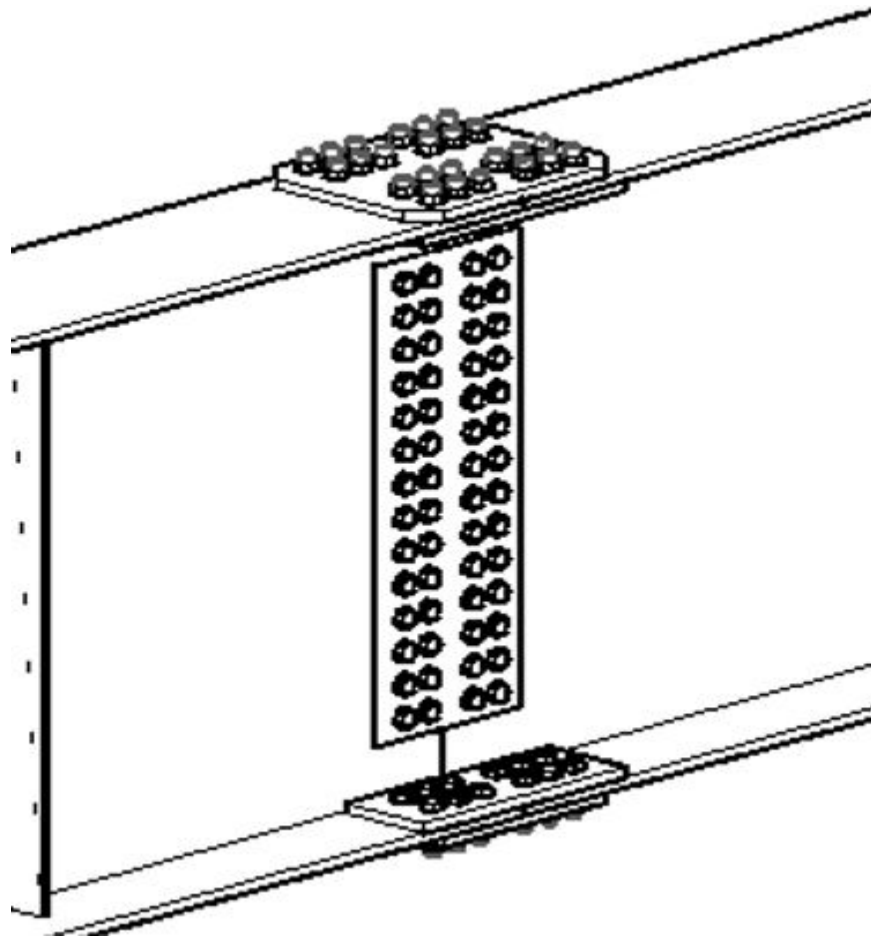
- по металлу границы сплавления

$$\frac{Q_{max}}{2 \cdot \beta_z \cdot k_f \cdot h_w \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Расчёт стыка.

Т.к. главная балка имеет достаточно большую длину и транспортировка на место строительства затруднена, обычно делают монтажный стык, в котором соединяют части балки. Также разрыв длинной балки делают, что бы избежать длинного сварного поясного шва.

Обычно стык выполняют по середине балки (тогда обе половинки симметричны) или делают два стыка в пролёте. Согласно норм стык выполняется только на болтах. В стыке размещают накладки по поясам и стенке с двух сторон и скручивают болтами. Учитывая, что усилие в балке значительны, в узлах применяют высокопрочные болты.

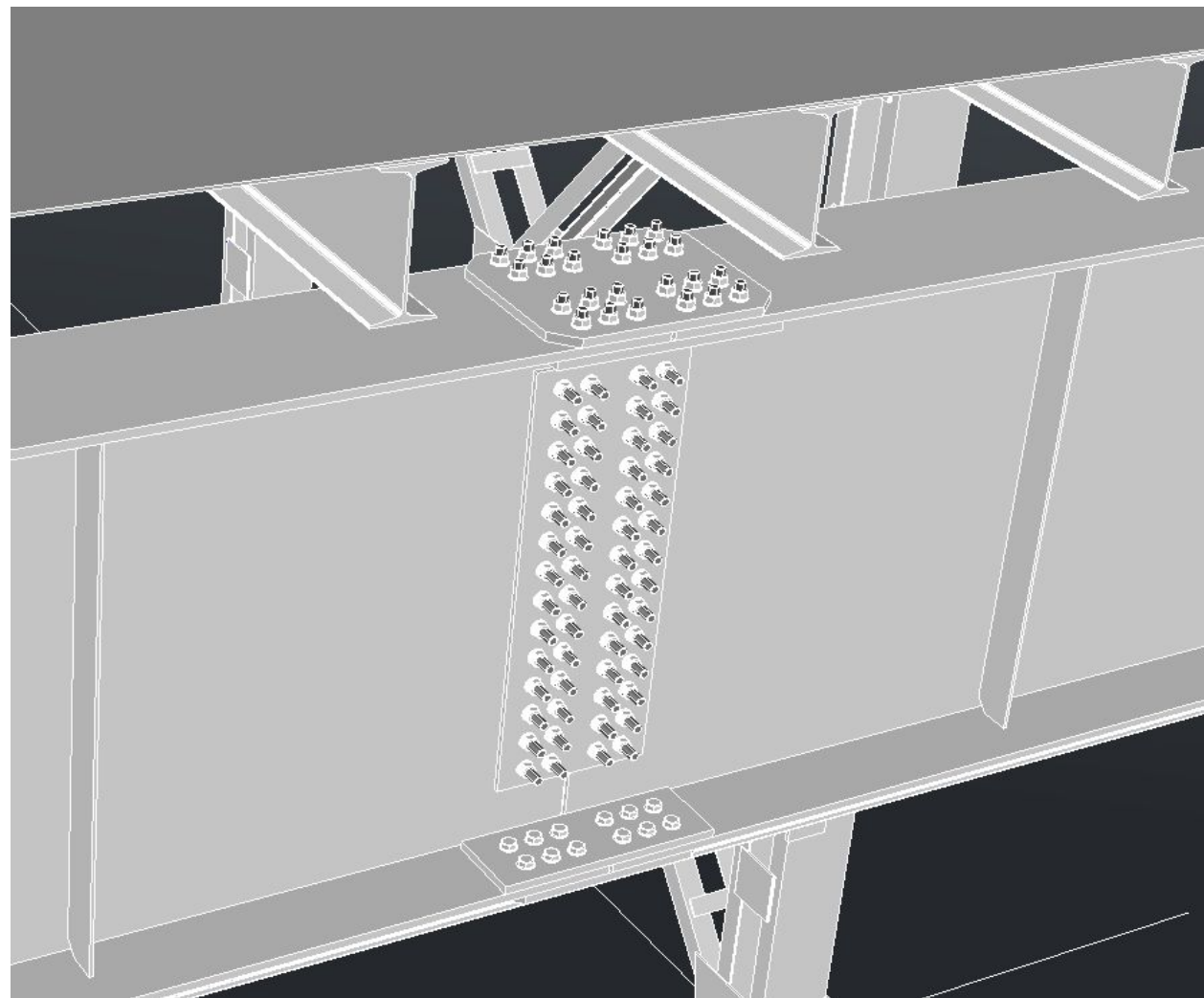


Расчёт стыка.

Расчёт стыка сводится к определению усилий в поясе и стенке, компоновке узла и проверке принятого конструктивного решения.

Усилие в поясах и стенке распределяются пропорционально геометрическим характеристикам — моментам инерции пояса и стенки. Изгибающий момент, приходящийся на пояса равен

$$M_f = \frac{M_{max} \cdot J_f}{J_x}$$



Расчёт стыка.

Усилие, действующие в поясе, равно

$$N_f = \frac{M_f}{h_0}$$

Часто, в запас прочности, усилие вычисляют по максимальной несущей способности пояса, как листа

$$N_f = b_f \cdot t_f \cdot R_y$$

Далее назначают тип болта, диаметр, способ обработки соединяемых поверхностей. Например, часто применяют высокопрочные болты из стали 40Х "Селект" или 30Х3МФ диаметром 20 мм (иногда 24 мм) с газопламенной обработкой поверхности.

Расчёт стыка.

По принятым данным вычисляется несущая способность одного высокопрочного болта

$$Q_{bh} = R_{bh} \cdot A_{bn} \cdot \frac{\mu}{\gamma_h} \cdot k \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$$

где

R_{bh} - расчётное сопротивление растяжению высокопрочного болта;

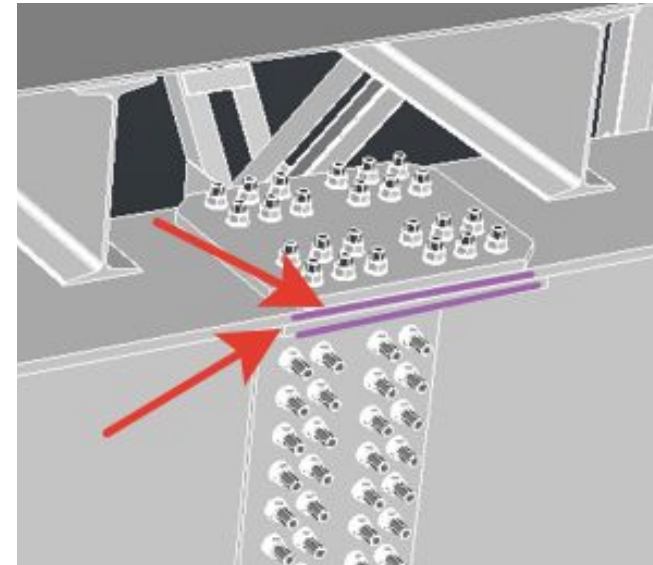
A_{bn} - площадь сечения болта нетто (площадь сечения болта без резьбы);

μ - коэффициент трения (зависит от способа обработки поверхностей)

γ_h - коэффициент, зависящий от способа контроля натяжения болта

k - количество срезов в соединяемых поверхностях;

γ_b - коэффициент, зависящий от кол-во болтов.



Расчёт стыка.

По усилию, действующем в поясе и несущей способности болта, определяют кол-во болтов в поясном стыке (!!! С одной стороны!!!)

$$n = \frac{N_f}{Q_{bh}}$$

С учётом симметричности принимают чётное большее кол-во болтов. Учитывая требования по расстановке болтов в узлах (до края листа или до другого элемента должно быть не менее $2 \cdot d_{отв}$ и между болтами должно быть не менее $2,5 \cdot d_{отв}$) проводят компоновку узла.

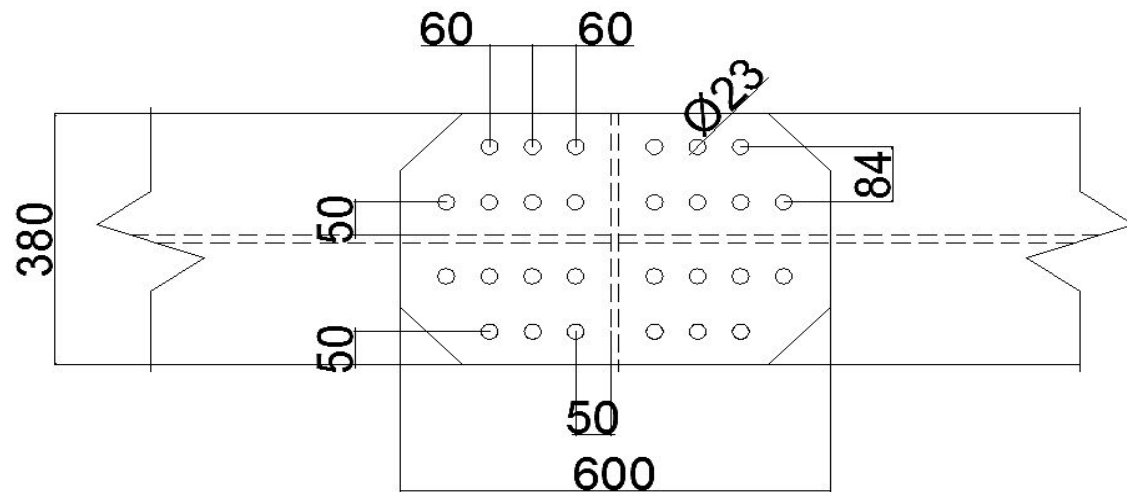
Согласно требований к отверстиям под высокопрочный болт (класс точности В) диаметр должен быть на 2-3 мм больше диаметра болта.

По расстановке болтов принимают размеры накладки по поясам (ширина, как правило, принимается по ширине пояса, а толщина или по толщине пояса или по расчёту).

Расчёт стыка.

Например, по расчёту в поясе, 380x22 мм, требуется разместить 12,6 болтов диаметром 20 мм.

Принимается, что кол-во болтов с одной стороны должно быть 14 шт. и отверстие под болты выполняем диаметром 23 мм. При этом расстояние между болтами принимаем $2,5 \cdot d_{\text{отв}} = 2,5 \cdot 23 = 57,5 \rightarrow 60$ мм и до края листа (стенки) не менее $2 \cdot d_{\text{отв}} = 2 \cdot 23 = 46 \rightarrow 50$ мм.



По размещению болтов принимаем накладку длиной 600 мм

Расчёт стыка.

Как видно из примера, широкий пояс не только полезен при устойчивости, но и позволяет разместить болты по 4 шт в ряд и тем самым сокращает размеры накладок и узла.

В ответственных конструкциях или с целью экономии листа проводят расчёт прочности накладок и поясов с учётом ослабления сечения отверстиями.

Для этого определяется площадь сечения листа **брутто**

$$A = b \cdot t$$

И площадь листа, ослабленного отверстиями **нетто**

$$A_n = t \cdot \left(b - \sum d \right)$$

Расчёт стыка.

Если отношение площадей (нетто/брутто) менее 0,85, то проверяется прочность листа по условной площади

$$A_{ef} = 1,18 \cdot A_n \rightarrow \frac{N}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Если отношении площадей (нетто/брутто) более 0,85, то проверка ведётся по площади брутто

$$\frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Расчёт стыка.

Пример. Пояс главной балки имеет сечение 530x14 мм и выполнен из стали С245. По расчёту в поясе действует сжимающая (растягивающая сила) 1200kN. В узле применяются высокопрочные болты диаметром 20 мм из стали 40Х "Селект". Болты размещены по 4 шт. в ряд. Проверить прочность верхней накладке размером 530x12 мм и нижних (пара) размером 250x12мм.

Решение. Определяем площадь нетто и брутто для верхней накладки с учётом отверстия диаметром 23 мм.

$$A = 1,2 \cdot 53 = 63,6 \text{ см}^2$$

$$A_n = 1,2(53 - 4 \cdot 2,3) = 52,56 \text{ см}^2$$

Отношение площадей

$$\frac{A_n}{A} = \frac{52,56}{63,6} = 0,826 < 0,85$$

Расчёт стыка.

Условная площадь

$$A_{ef} = 1,18A_n = 1,18 \cdot 52,56 = 62,02 \text{ см}^2$$

Проверяем прочность сечения

$$\frac{N}{A_{ef} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1200}{62,02 \cdot 24 \cdot 0,9} = 0,897 \leq 1$$

Условие прочности выполняется. Оставляем принятое сечение 530x12 мм.

Определяем площади нижней полунакладки (12x250 мм)

$$A = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ см}^2, \quad A_n = 1,2(25 - 2 \cdot 2,3) = 24,48 \text{ см}^2,$$

$$\frac{A_n}{A} = \frac{24,48}{30} = 0,816 < 0,85$$

$$A_{ef} = 1,18A_n = 1,18 \cdot 24,48 = 28,89 \text{ см}^2, \quad \frac{N}{A_{ef} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1200/2}{28,89 \cdot 24 \cdot 0,9} = 0,961 \leq 1$$

Для нижних полунакладок условие прочности также выполнено.

Расчёт стыка по стенке главной балки.

Расчёт стенового стыка ведётся аналогично поясному: определяется усилие, действующие на стык, проводится компоновка узла с учётом расстановки болтов и выполняется поверочный расчёт.

При назначении места расположения крайних болтов руководствуются предельными расстояниями до соседних элементов (поясные накладки и болты в поясе). Обычно с учётом толщины накладки пояса (12-30 мм), длины болта с шайбой и гайкой (примерно 15-25 мм) и расстоянию до края стеновой накладки принимают расстояние от пояса (края стенки) до первого болта примерно 80-120 мм. Для лучшей работы стенового стыка рекомендуется это расстояние брать как можно меньше. Далее, зная предельное расстояние между крайними болтами ведут равномерное размещение остальных болтов с учётом требований к расстановке болтов.

Расчёт стыка по стенке главной балки.

Как правило стык главной балки размещается по середине и в этом месте действует только максимальный изгибающий момент. Стенка воспринимает

$$M_w = \frac{M_{max} \cdot J_w}{J_x}$$

Расчёт ведут по упрощённой формуле, определяя максимальное значение усилия в наиболее загруженном болте (самым удалённом) и сравнивая его с расчётным

$$N = \frac{M_w \cdot a_{max}}{k \cdot \sum a_i^2} \leq N_b$$

Где a_{max} - максимальное расстояние между крайними болтами, k — количество вертикальных рядов болтов в стыке, $\sum a_i^2$ - сумма квадратов расстояний между парами симметрично размещённых болтов.

Расчёт стыка по стенке главной балки.

При необходимости устанавливают 2, 3 ряда вертикальных болтов или применяют более прочные болты (реже увеличивают диаметр болта).

Если стык находится в месте, где кроме изгибающего момента действует и поперечная сила, то в формуле прочности необходимо учесть это

$$N = \frac{M_w \cdot a_{max}}{k \cdot \sum a_i^2} + \frac{Q_x}{\sum n} \leq N_b$$

Т.к. стенка балки как правило, достаточно тонкий элемент, то накладку принимают по толщине равной толщине стенки, а другие размеры по компоновочным расчётам и прочность ослабленного сечения не проверяют.

Расчёт стыка по стенке главной балки.

Пример. Стенка высотой 1300 мм. пояс толщиной 22 мм, болты диаметром 20 мм. Закомпоновать узел стыка по стенке при условии размещения в два вертикальных ряда.

Принимаем отступ от края стенки 100 мм. т.е. на накладку оставляем 1100 мм. С учётом размещения болтов От края листа (более 50 мм), остаётся 1000 мм. Учитывая минимальное расстояние между болтами (60 мм) можно принять не более 17 горизонтальных рядов (16 промежутков), равных $1000/16=62,5>60$.

Для примера возьмём шаг 75 мм. Получаем, что кол-во горизонтальных рядов $1000/75 \approx 13+1=14$. Равномерно расставляем болты и получаем максимальное удаление крайних болтов $a_{max} = 13 * 75 = 97,5$ см, а $\sum a_i^2 = 7,5^2 + 22,5^2 + 37,5^2 + 52,5^2 + 67,5^2 + 82,5^2 + 97,5^2$

Расчёт стыка по стенке главной балки.

С учётом размещения болтов принимаем ширину накладки $2(50+60+50)+$ зазор между половинками балок (примерно 5-10 мм).

$>320+(5...10)$

принимаем 360 мм

Высоту оставляем из начальной компоновке 1000 мм, толщину принимаем по толщине стенки.

