

## Тема 3. Пространствено укрепяване на мостовете

### 3.1. Функция. Общи изисквания

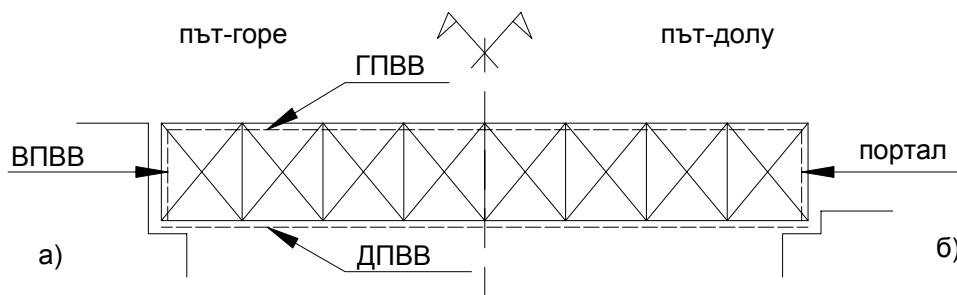
Пространственото укрепяване на мостовете следва да поема всички товари действащи неуспоредно на равнината на главните носачи и да ги пренася до опорните точки на връхната конструкция. Това са основно напречните хоризонтални товари от вятър и сеизмичните товари. Друга функция на пространственото укрепяване е да укрепва натиснати елементи от главната система извън нейната равнина. Укрепват се силно натиснати елементи, както и елементи с голяма изкълчвателна дължина. Къси елементи на главната система се опират напречно във възли на надлъжните укрепителни системи с единия или двата си края и работят като ставно опрян прът или конзола.

Схемата на пространственото укрепяване се избира според вида на главната конструкция, положението на пътя, размерите на пътния габарит, изисквания за простота на изготвянето и монтажа, естетически изисквания др. Целта е интегралната конструкция да представлява пространствено устойчив блок с възможности да възприема безпроблемно всички експлоатационни комбинации от въздействия.

Тук ще се разгледат принципите за осъществяване на пространственото укрепяване на едноотворни системи от гредов тип – греди или ферми. Укрепването на по-сложни системи ще бъде изяснено едновременно с тяхното представяне по-нататък.

### 3.4. Укрепване на главни носачи от фермов тип

Схемата на укрепяване на главни носачи от фермов тип е показана на фиг.3.1. Укрепването има съответни различия в зависимост от нивото на пътя. Фигура 2.1.а) показва укрепяване при път-горе, а фиг.2.1.б) при път-долу. С пунктирни линии се означава напречна равнина, в която е разположена съответна укрепителна връзка.



Фиг.3.1. Укрепване на главен носач от фермов тип

От фигурата се вижда, че укрепителните връзки се разполагат по контура на главния носач. Ако освен тях се поставят и други връзки, например по някои от вътрешните вертикали, това подобрява работата на системата, но е свързано с допълнителни технологични и монтажни операции и се практикува при специална необходимост.

Надлъжната укрепителна връзка на нивото на пътя: горната противовеетрова връзка (ГПВВ) – при път-горе или долната противовеетрова връзка (ДПВВ) – при път-долу, имат по-специално значение за работата на връхната конструкция и се наричат още “главна противовеетрова връзка”. Разграничаването на главната противовеетрова връзка идва от функцията и да възприема натоварване освен от вятър върху елементите на главната система, така също върху елементите на пътната конструкция и върху трафика.

Горната противоветрова връзка поема ветрово натоварване, действащо върху елементите от горната половина на главния носач (и добавъчното ако е главна връзка) и го пренася в двата си края, работейки като хоризонтална носеща система (пълностенна или прътова). Друга функция на връзката е да укрепва натиснатия пояс в нейната равнина. Ако връзката е прътова изкълчвателната дължина на пояса е равна на междувъзловото и разстояние, а ако е пълностенна и е непрекъснато захваната за него проблем с изкълчването му не съществува. Пълностенна връзка може да представлява пътната плоча работейки като главна връзка, при положение, че е от стоманобетон или е съставена от дървени части, подходящо обединени за да образуват непрекъсната (континуална) система в нъдлъжно и напречно направление.

Пренесеното в двата края на горната връзка ветрово натоварване във вид на опорни реакции трябва да се отведе в опорните точки на главната система. За това служат вертикалните противоветрови връзки (ВПВВ). Те обикновено са прътови, но ако мостът е с път долу схемата им следва да бъде такава, че да не се препятства преминаването на трафика, тоест те трябва да имат правоъгълен отвор. Корава система, която да дава такава възможност е рамката, затова в този случай вертикалната връзка се нарича портална рамка или "портал".

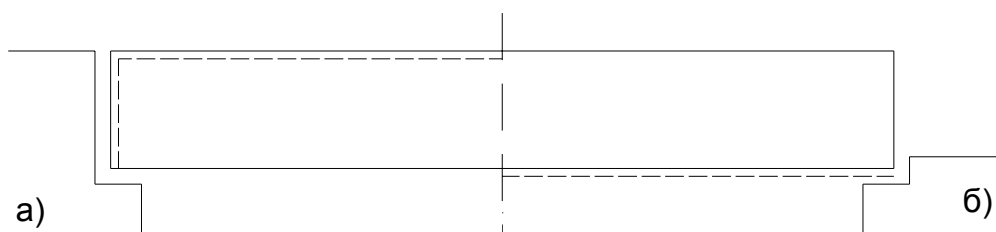
Долната противоветрова връзка възприема ветровото натоварване действащо върху елементите от долната половина на връхната конструкция (както и добавъчното, ако е главна) и ги пренася до опорните точки. Тя няма укрепващи функции тъй като при просто опирание поясът е опънат.

Специален случай за пространственото укрепване е този когато при път-долу габаритът за полезния товар излиза над нивото на горния пояс. Тогава не може да се използва горна противоветрова връзка, защото ще пречи. Нейните функции обаче следва да се поемат от еквивалентна на нея друга система. Подходящи в случая са U-образни полурамки, образувани от напречни греди и вертикалите на главната ферма. За целта те трябва да са корави на огъване елементи.

Полурамките укрепват горния пояс чрез наличната си коравина и пренасят ветровото натоварване приложено върху него на нивото на долната връзка. Пример за конструктивно реализиране на полурамка може да се види на фиг.6.3.

### 3.4. Укрепване на главни носачи от гредов тип

Укрепването на главни носачи от гредов тип принципно се изпълнява по описания по-горе начин, но предвид на това, че са с малка конструктивна височина, малка дължина и имат в някаква степен усуквателна коравина, то може да се опрости. Схемата на такова укрепване е показана на фиг.3.2. за случаите на път-горе и път-долу.

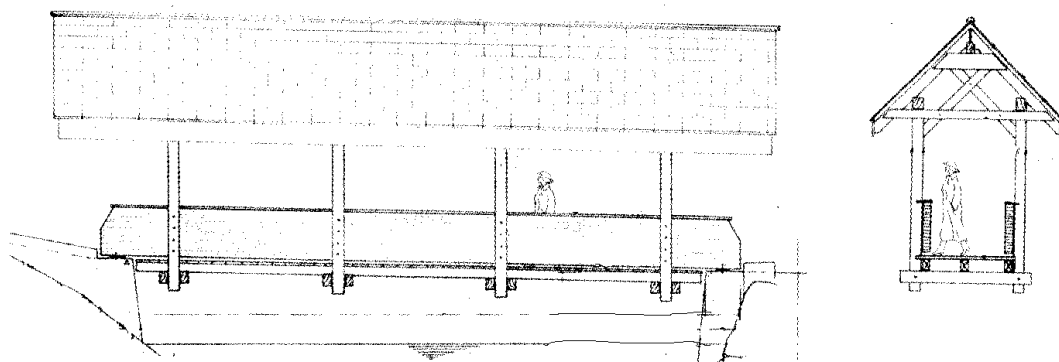


Фиг.3.2. Пространствено укрепване при пълностенни греди

При път-горе се поставя само горна надлъжна връзка, евентуално това може да бъде пътната плоча. Трябва да има вертикална връзка за пренасяне на хоризонталната сила до опората, а ветровият товар действащ по дължина на гредата се пренася в равнината на горната укрепителна връзка чрез работа на гредата на усукване. При по-високи греди с

недостатъчна усуквателна коравина могат да се предвидят допълнителни напречни връзки на няколко места в отвора.

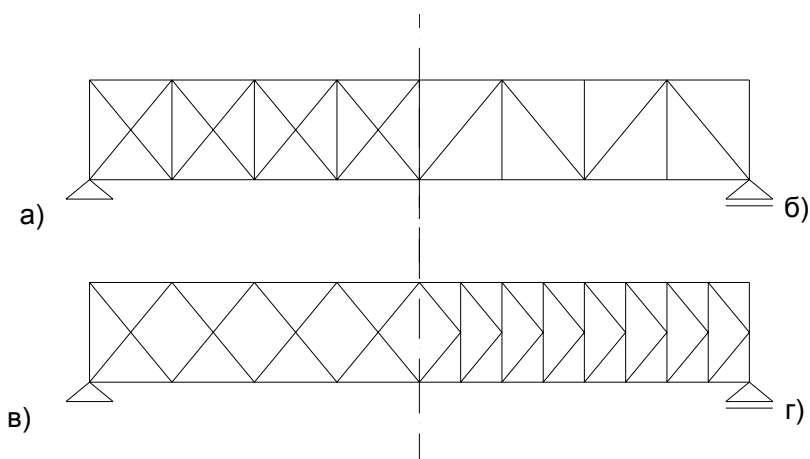
При път-долу може да се разчита на долната укрепителна връзка (пътна плоча), а вятърът върху горната половина на гредата следва да се поема чрез работата ѝ на усукване. В някои случаи на покрити пешеходни мостове може да се използва конструкцията на покритието за реализиране на укрепващи напречни рамки по дължина на гредата. Такава идея е показана на фиг.3.3.



Фиг.3.3. Укрепване на лепена мостова греда с път-долу

### 3.4. Укрепителни системи – видове решетки

В случаите когато надлъжната укрепителна връзка не е пътна плоча, нейната схема е прътова, с решетка според вариантите на фиг.3.4. Пояси на връзките са поясите на самата главна система. За вертикали на връзките (при положение, че са главни връзки) могат да се използват напречните греди на пътната конструкция. Останалите елементи са само елементи на връзките. Те се изпълняват от дървесина (монолитни или лепени блокове) и от стомана. Най-често стоманените елементи са от обла стомана и могат да работят само на опън. Те следва да се поставят в схеми, при които определен брой стоманени пръти, изключващи се от работа при натиск, не довеждат конструкцията до състояние на геометрично изменяема система. След като за всяко съоръжение е основателно да се допусне действие на вятъра от едната и от другата страна, при смяна на посоката изключилите се от работа се включват, а тези които са били опънати се товарят обратно и се изключват (без поясите).



Фиг.3.4. Прътови схеми за надлъжни укрепителни връзки

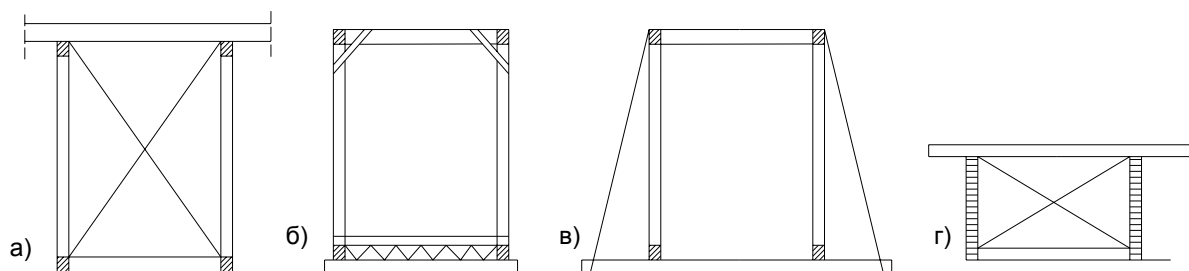
Такава е схемата от фиг.3.4.а). Ако диагоналите и са от обла стомана, за дадена посока на вятъра ще работи единия комплект успоредни диагонали, а другите ще се изключат. При смяна на посоката на вятъра диагоналите ще сменят функциите си. Аналогично действие може да има и ако диагоналите са дървени, а вертикалите - от стомана. В този случай работи натиснатия комплект диагонали и товари вертикалите само на опън (без крайните).

При схемата от фиг.3.4.б) не следва да има изключващи се пръти, защото тя ще премине в механизъм. Прътите следва да са от дърво и да са с възлови съединения които могат да предават както опън, така и натиск.

Схемата от фиг.3.4.в) най-често се използва за горна противоветрова връзка при конструкции с път долу. Тя е видима и притежава естетически предимства пред останалите. Прътите и обаче се товарят двузначно без възможност за изключване и следва да са от дърво с подходящи възлови съединения.

Схемата от фиг.3.4.г) се използва в случаи когато размерите на полетата са близки до съотношението 1:2. Тогава К-връзката запазва благоприятен ъгъл на наклона на диагоналите близък до  $45^\circ$ .

Вертикалната противоветрова връзка при път-горе се изпълнява от кръстосани диагонали (фиг.3.5.а), които могат да бъдат дървени или от обла стомана.



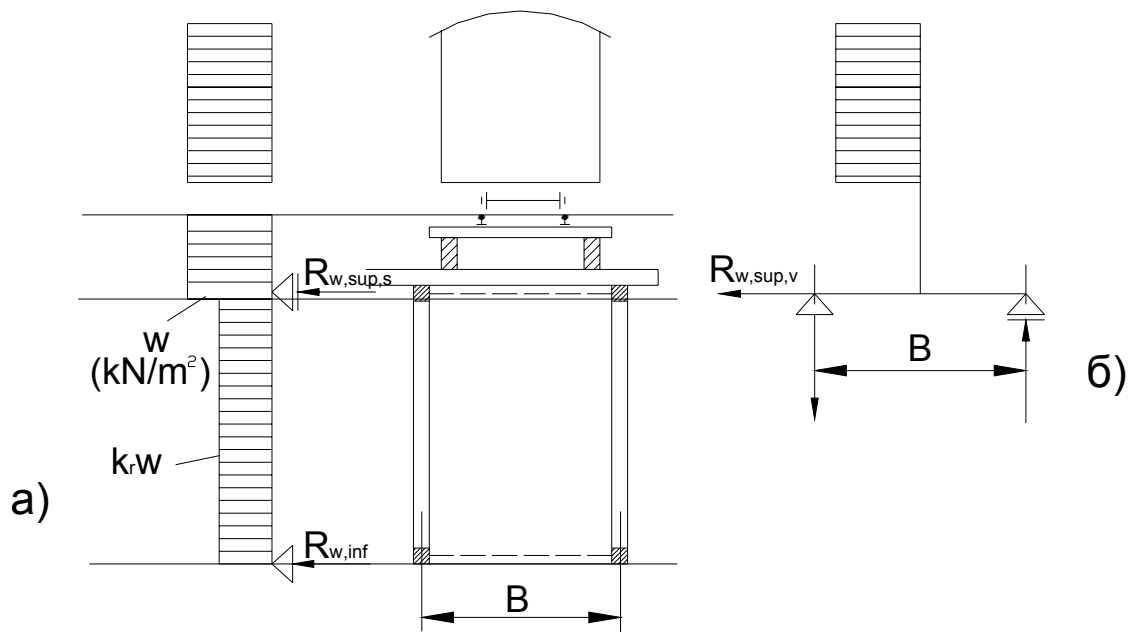
Фиг.3.5. Конструкции на вертикални връзки

Порталната рамка при път-долу се изпълнява от схемата на фиг.3.5.б), в) или сходни на тях. За долен ригел се използва крайната напречна греда, стойки са вертикалите на главната система, а горен ригел е крайният вертикал на горната противоветрова връзка. Необходимо е да се обмислят такива възлови детайли, че възлите да работят като корави. Схемата от фиг.3.5.г) е подходяща за греди от лепени блокове с път-горе. Ако гредите са няколко, такива диагонални връзки се разполагат в крайните полета или между всички греди.

### 3.5. Основи на статическото изследване и оразмеряване

Определянето на усилията в елементите на пространственото укрепяване следва да се извършва чрез пространствени изчислителни модели. За по-прости конструкции моделите може да са равнинни, при което следва да се съблюдава коректното разпределение на товарите между отделните равнинни системи, както и условията за равновесие на отделните пространствени възли.

Тук ще бъде изложен приблизителен подход към изследването на фермова мостова конструкция с път-горе за железопътен трафик. Разпределението на ветровото натоварване между двете надлъжни връзки се извършва по схемата на фиг.3.6.



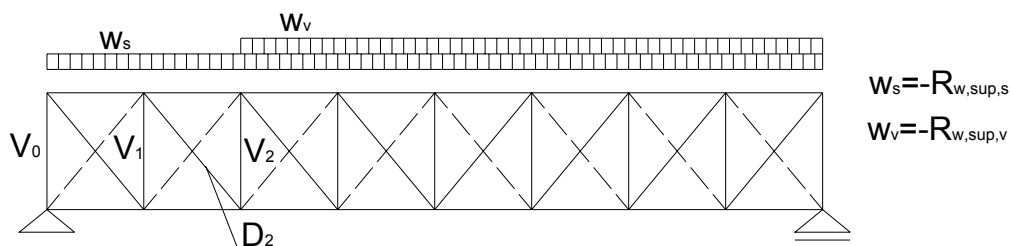
Фиг.3.6. Схема на разпределяне на ветровото натоварване между надлъжните укрепителни връзки

Определянето на интензитета на ветровото натоварване  $w$  тук няма да се коментира. То е различно върху пътната част от конструкцията (возилото и пътната конструкция) и върху решетъчната част. Ако не се ползват по-точни указания,  $w$  се умножава с коефициент на решетъчност  $k_r$ , който представлява отношението на площта на вертикалната проекция на елементите на решетката към контурната площ на главния носач.

Разпределението на ветровия товар става като се приеме условна вертикално разположена греда, опряна в точки на нивото на укрепителните връзки. Получените опорни реакции взети с обратен знак като акции са товарите върху съответната връзка. Вятърът върху возилото се разглежда отделно по две причини. Първата е, че при екстремни ветрови скорости, возила по конструкцията не се движат. Затова конструкцията се изследва за екстремно ветрово натоварване  $w_{max}$  без возило върху нея и с друго – с по-малък интензитет, при наличие на возило  $w_s$ . Втората причина е, че возилото може да се намира върху част от конструкцията ако това дава по-голямо усилие за даден елемент. Сумарното усилие от натоварване  $w_s$  върху конструкцията и возилото се сравнява с усилието от натоварване  $w_{max}$  и елементът се оразмерява за по-голямото от двете.

Натоварването от вятър върху возилото се определя по схемата на фиг.3.6.б). Хоризонталната реакция  $R_{w,sup,v}$  взета с обратен знак като акция товари горната противоветрова връзка, а ексцентрично приложението товар поражда двоица реакции, които товарят главните носачи. Трябва да се отбележи, че всички реакции определени по този начин са с дименсия на линейно разпределени товари.

Определянето на усилията в прътите на връзката следва да става за най-неблагоприятното положение на товара. За поясните пръти на конструкция с просто опирание максимално усилие се получава при возило върху цялата дължина, но за пълнежните пръти това става ако возилото се намира от едната страна на изследвания прът, както е показано на фиг.3.7. за пръта  $D_2$ .



Фиг.3.7. Меродавно натоварване за прът  $D_2$  от горната укрепителна връзка

Прътите, които се изключват от работа при натиск са показани с пунктир. Чрез изрязване на долния възел на  $D_2$  се установява, че максималното натисково усилие  $V_2$  ще бъде равно на вертикалната проекция на усилието  $D_2$ , определено по гореописания начин. Изключените от работа диагонали работят на принципа на разглежданите по-горе при обратна посока на вятъра, а вертикалите запазват същата функция.

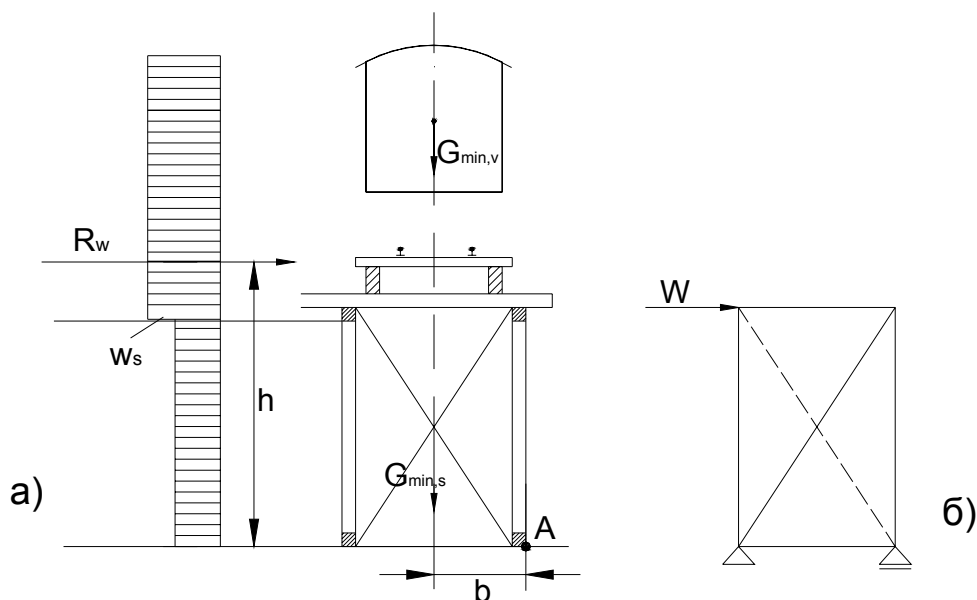
В случаите когато надлъжна връзка се изпълнява с дървени (натискови) и стоманени (опънни) вертикали, схемата от фиг.3.7. се модифицира като за показаното натоварване от вятър работещи стават диагоналите означени с пунктир.

Останалите схеми от фиг.3.1. се изследват аналогично, като се има предвид, че при тях не трябва да има изключващи се от работа пръти.

Усилията в елементите на долната връзка се получават аналогично на тези от горната, като се изключи влиянието на вятър върху возилото.

Усилията в елементите на вертикалните връзки се получават от товар  $W$  равен на опорната реакция на горната надлъжна връзка. Максималната и стойност се получава при возило върху пълната дължина, ако другото състояние с товар  $w_{max}$  не е меродавно.

Статическа схема за получаване на усилията е показана на фиг.3.8.б) при положение, че диагоналите са стоманени и е изключен единия от тях.



Фиг.3.8. Схема за изследване устойчивост на положението а) и схема за определяне на усилията във вертикална връзка б)

Оразмеряването на прътите на връзките и техните възли става по изискванията за дървени (стоманени) конструкции за максималните усилия в тях и съобразно и конструкцията на възлите.

За определяне на едно специално състояние на конструкцията наречено “устойчивост на положението” се използва схемата от фиг.3.8.а). Изследва се възможността конструкцията да се преобърне чрез завъртане около т.А при действие на преобръщачия момент  $M_a = R_w \cdot h$  ( $R_w$  е резултантата на ветровото натоварване). На него противодейства задържащия момент  $M_p = (G_{\min,v} + G_{\min,s}) \cdot b$ .  $G_{\min,v}$  е теглото на празни вагони ( $12,5kN/m'$ ), а  $G_{\min,s}$  е минималното собствено тегло на връхната конструкция на  $m'$ , взето без коефициент на натоварване. Отношението на двата момента следва да се подчинява на условието:

$$M_p / (kM_a) \geq 1 \quad (3.1)$$

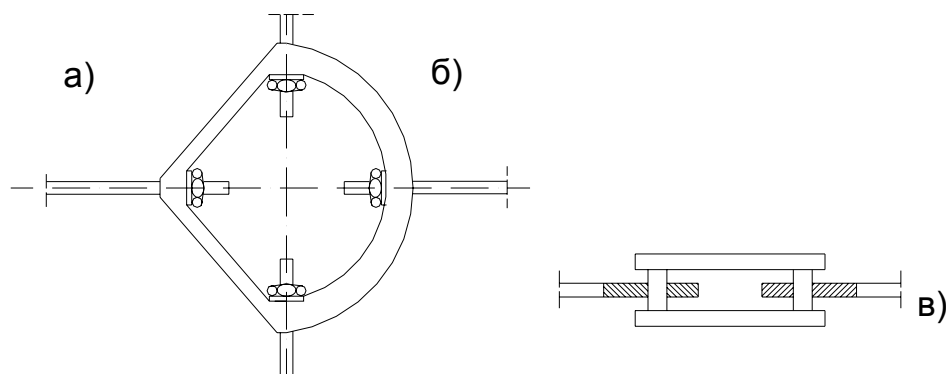
където:

$k \geq 1$  е коефициент на сигурност

### 3.6. Конструктивни детайли

Конструктивните детайли на връзките следва да се проектират така, че да са лесни за производство и монтаж и да функционират съобразно възприетата конструктивна схема. Детайлите обикновено включват дървени и метални части. Металните части следва да са горещо цинковани срещу корозия, а допиращите се към тях дървени плоскости следва да са обмазани с водонепромокаемо лаково или друго покритие, което да ги предпазва от кондензна влага.

Често срещан детайл е пресичане на стоманени кръстосани диагонали от обло желязо. Възможни решения са показани на фиг.3.9.

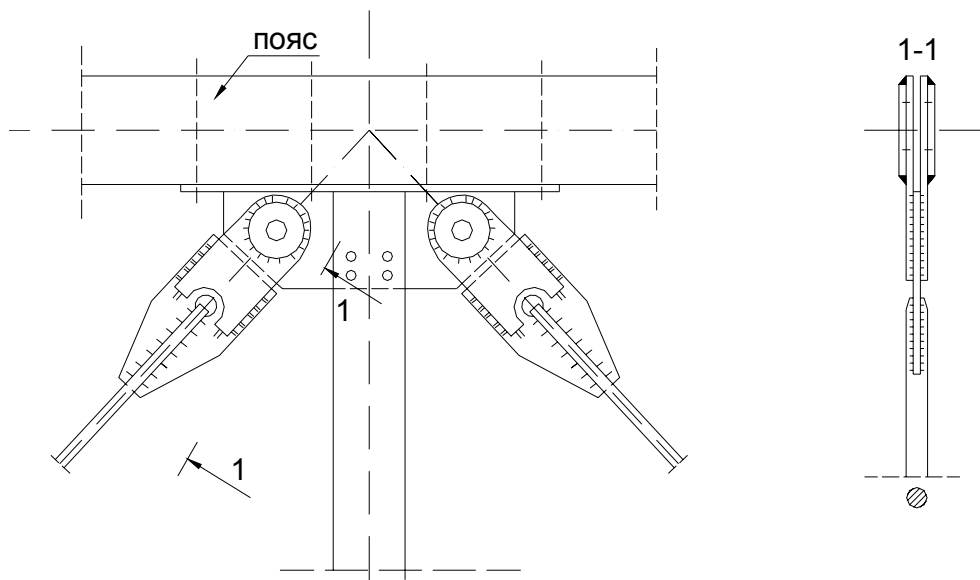


Фиг.3.9. Възможности за натягане на пръти от обло желязо

Случай а) е приложим при пресичане под прав ъгъл, а случай б) може да се прилага за всякакъв ъгъл на пресичане. Правоъгълният или кръглият елемент се оразмеряват за опънна сила и огъване в отслабеното от отвора сечение, когато единият диагонал е изключен от работа.

Самите диагонали се оразмеряват на опън по отслабеното от резбата сечение. Възможно е в участъка на резбата да се използва по дебел прът, който чрез заваряване да се прикрепя към останалата част. Тогава материалът се използва пълноценно на пълната дължина.

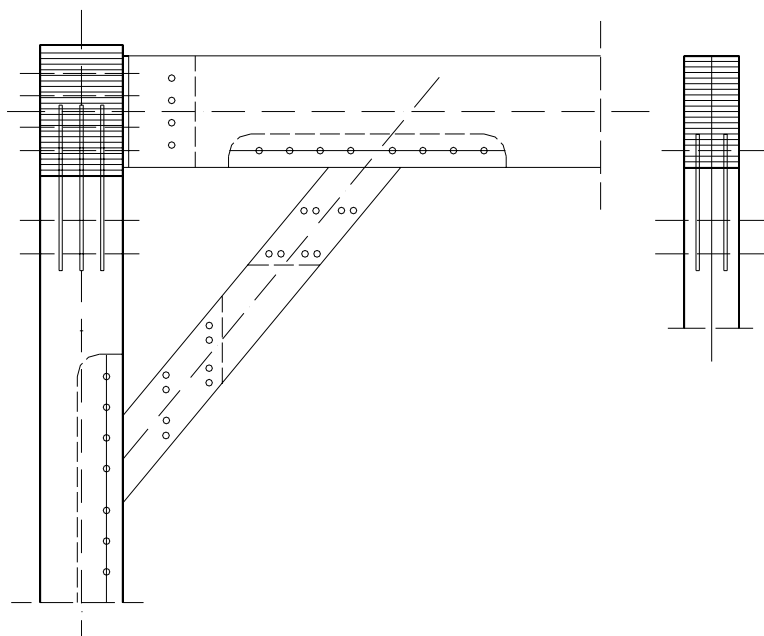
Възможно е пресичане на диагоналите с разминаване (обединителният елемент става излишен), но тогава за всеки прът трябва да се предвиди приспособление за натягане от вида показан на фиг.3.9.в). Прекъснатият прът завършва с права и обратна резба. При въртене на частите съединяващи гайките в една посока се получава натягане, а в обратна – отпускане. Натягащото приспособление може да бъде направено и от тръба с права и обратна резба.



Фиг.3.10. Възел на връзка от пространствено укрепване

Фиг.3.10. представя поясен възел от връзка с кръстосани стоманени диагонали. Диагоналите, завършващи с уши, се захващат с централен (ставен) болт към възлова плоча. Посредством прорез по оста си дървеният вертикал пресича възловата плоча и се опира челно в перпендикулярна на нея друга плоча. Последната е прилепена към пояса и се захваща за него с няколко болта оразмерени да предават компонентата от диагоналното усилие, успоредна на пояса. Другата компонента се предава на вертикала чрез челното му опирание в стоманената плоча. Болтовете, които го свързват с другата плоча са само скрепителни.

Възел на портална рамка е показан на фиг.3.11.



Фиг.3.11. Крав възел от портална рамка

Подкосният елемент е захванат за ригела и стойката с прорезни стоманени плочи и болтове. Ригелът е захванат за пояса с фланцева и прорезна плоча. Всички съединения се проектират за предаване на двупосочно действащи усилия.