

ПРОЕКТИРАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ ПОДКРАНОВИ ГРЕДИ, СЪГЛАСНО ЕВРОКОД

Станислав Цветков

st.cvetkov@vsu.bg

*Висше строително училище „Любен Каравелов“-София,
Строителен факултет, катедра „Строителни конструкции“
ул. «Суходолска» № 175
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** стоманобетонна подкранова греда статическа схема- проста греда, Еврокод 2, анализ и конструиране*

***Резюме:** Докладът представя обща информация за стоманобетонните сглобяеми (монтажни) подкранови греди, тип „проста греда“. Дадени са сведения за работата им и начините на анализ. Показана е практическа процедура за изчисляване на армировките (с допълнително конструирани огънати пръти). Също така са показани примерни кофражен и армировъчен планове с характерни детайли.*

1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Подкрановите греди (ПГ) са основната (най-отговорна) носеща конструкция на релсовия път, по който се движат мостовите кранове. Стоманобетонните греди имат предимство пред стоманените, че са по-икономични по отношение на разход на стомана, създават по-голяма коравина на сградата в надлъжна посока и намаляват изкълчвателната дължина в долната част на колоните. При тежки кранове за предпочитане са стоманените ПГ или стоманобетонни с предварително налягане на армировката им [1].

Подкрановите греди могат да бъдат със статическа схема проста или непрекъснатата греди. При положение, че конструкцията е сглобяема и че непрекъснатите греди имат проблеми (като например необходимост от сложен кофраж, необходимост от налягане и др.), заради: поддаването на опори, температурни и външни въздействия (от които се наблюдава увеличаване на разрезните усилия), се предпочитат ПГ със статическа схема проста греда.

Най-често използваните напречни сечения (**Фиг. 1**) са Т- образното (за $L=6m$) и 2Т- образното, нар. още ГТ (също както при мостовите греди с предварително налягане- за разполагане на армировката- мека и наляганата в долния, уширен пояс)- за $L=12m$. Установено е експериментално, че гредите с $L=6m$, при които се прилага предварително налягане получават пукнатини при каналобразователите, заради което обстоятелство производителите не ги препоръчват. За $L=12m$ – най-подходящо е предварително налягане. Технологично- с оглед облекчаване на изготвянето и монтажа, конструирането на прости греди е целесъобразно. Непрекъснатите греди са икономични, но изпълнението на съединението с оглед възстановяване непрекъснатостта при сглобяемите греди е свързано с много труд и с голям разход на

профилна стомана [2]. Препоръчително е гредите да бъдат изпълнени от материали с високи класове (препоръчителни, например: минимален клас бетон C25/30 и армировъчна стомана B500B). Споменатите отвори: 6 и 12 m са *условни* (възможни са и др. близки до тях, в зависимост от заданието за проектиране), както и напречните сечения са в зависимост от приетия начин на конструиране (вид на армиране).



а). Т-образно сечение



б). 2Т („ГТ“) сечение

Фиг. 1. Греди в производствени халета

Освен динамичен с многократно повтарящи се натоварвания режим на работа, създаден от крана (движение в надлъжна посока на крановото средство, движение напречно на сградата на крановата количка, режими на тръгване и спиране, удари в буферите и т.н.), като въздействие трябва да бъде проверено и сеизмичното, дали не създава екстремни стойности на някои усилия в конструкцията като цяло.

Изчисляване за образуването на пукнатини (напреженията да са лимитирани най-много до характеристичната якост на опън на бетона), както и *възможни* процедури по възстановяване и усиляване на конструкциите, се извършват съгласно предписанията в Еврокодовете формули и правила.

Изследване на умора обикновено се изисква само за елементите, които са подложени на променливи напрежения от вертикални кранови товари. Променливите напрежения от хоризонтални кранови товари обикновено са пренебрежими. Когато броят на циклите при натоварване над 50% от пълното променливо натоварване не превишава C_0 (показател, съгласно Националното приложение към Стандарта за проектиране), елементът не се изчислява за умора. В натисковата зона на сечението на гредата не се допускат опънни напрежения при циклични натоварвания. Наклонените сечения се изчисляват на умора от условието главните опънни усилия, действащи в центъра на тежестта на приведените сечения, да се поемат със стремена.

Ако за нуждите на даденото стопанство/производство е необходим само един на брой кран и заданието за проектиране изрично отхвърля възможността за включване (добавяне) в работата на още един кран, ПГ се изчислява само за един брой кран. В противен случай, ПГ се изчислява най-малко за два броя крана при хоризонтално въздействие от кран и от 2 до 4 броя крана при вертикално въздействие от кран (3 броя за крана по даден път, 4 броя крана в еднокорабна сграда и 4 броя крана- за един кораб + 2 броя крана- за другия кораб, при многокорабни сгради).

При наличие на подвижни въздействия върху даден елемент, разрезните усилия, при решение на ръка се определят посредством Линиите на влияние по Правилото на Winkler [3]. Решенията на ръка не са трудоемки за прости греди, а за непрекъснати греди са съставени помощни таблици и графики в различни справочници (като се има предвид, че максималният момент над опората възниква не при сблизени кранове).

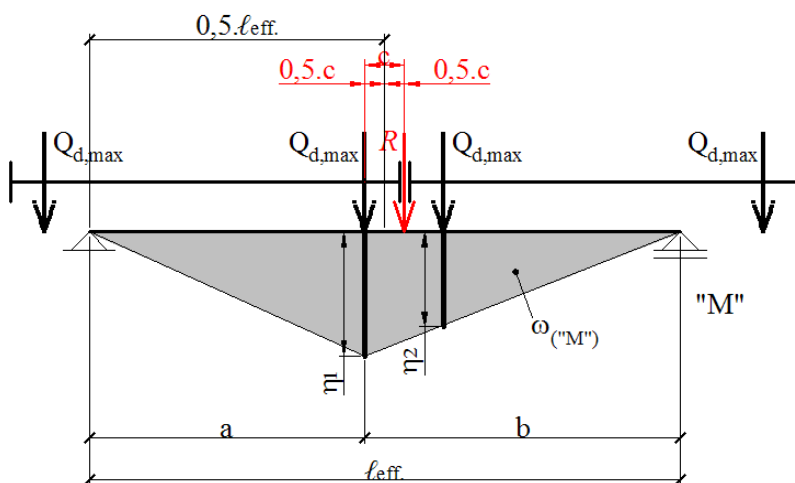
Естествено, греди с всякакви напречни сечения и статически схеми, могат да бъдат анализирани със специализиран софтуер по МКЕ. За анализ на цялостен 3D

(пространствен) модел на конструкцията при решение с Линии на влияние, могат да бъдат използвани различни програмни продукти като: Tower, SAP2000, ANSYS и др.

2. ПРАКТИЧЕСКИ АЛГОРИТЪМ ЗА АНАЛИЗ НА ПГ- Т-СЕЧЕНИЕ, (СТАТИЧЕСКА СХЕМА ПРОСТА ГРЕДА) ПРИ ДВА КРАНА [1], [4]

Конструират се съгласно конструктивните мероприятия за обикновени стоманобетонни греди. Изчислителната им схема може да се разглежда като проста греда от постоянните и подвижни товари, или като проста греда за постоянните товари (собствено тегло) и непрекъснатата за подвижните товари.

1. Определяне на собственото тегло на ПГ и релсовия път: $G_d, [kN/m]$;
2. Определяне на максималната вертикална сила от колело на крана: $Q_{d,max}, [kN]$;
3. Определяне на хоризонтална сила, чрез товара на количката и товароподемността на крана: $H_d, [kN]$;
4. Изчислителният отвор се получава по формулата: $l_{eff.} = l_{ax} - \min 3cm$, (заради наличието на монтажните елементи!); l_{ax} – осово разстояние между гредите (колоните).
5. Чрез построяване на линията на влияние за огъващ момент "M" (Фиг. 2), се определят максималните стойности на моментите: $M_v, [kN.m]$ и $M_h, [kN.m]$



$\omega('M')$ - площ на линията на влияние

Ординатата $\eta_1 = (a \cdot b) / l_{eff}$.

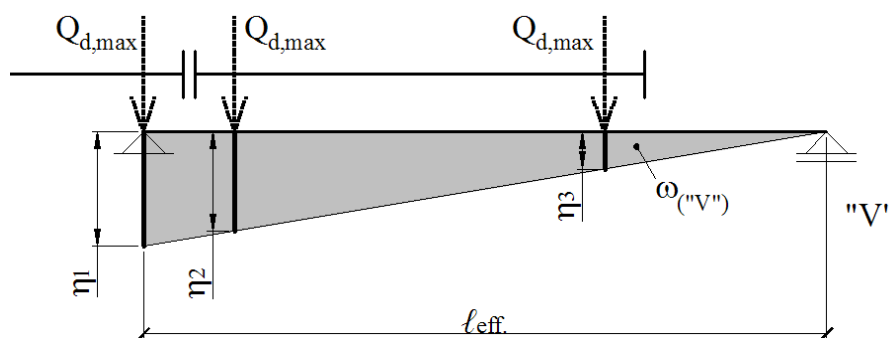
Фиг. 2. Линия на влияние за огъващ момент

Съгласно правилото на Winkler: максималният момент възниква при такова положение на силите, когато равнодействащата R на всички сили, намиращи се върху гредата и най-близката до нея сила, са равно отдалечени от средата на отвора на гредата. При това положение ординатата с максималната стойност се получава под силата- най-близка до средата на отвора на гредата.

Разстоянието c зависи от габаритите на крановете.

$$(1),(2) \quad M_v = G_d \cdot \omega('M') + Q_{d,max} \cdot \sum \eta_i \cdot \psi_j; \quad M_h = H_d + \sum \eta_i \cdot \psi_j$$

6. Чрез построяване на линията на влияние за срязваща сила "V" (Фиг. 3), се определя максималната стойност на срязващата сила $V_{Ed,max}, [kN]$



$\omega_{('V')}$ - площ на линията на влияние

Ординатата $\eta_1 = 1$.

Фиг. 3. Линия на влияние за срязваща сила

Съгласно правилото на Winkler: максималната срязваща (напречна) сила се получава при такова положение на товара, когато една от силите се намира непосредствено над опората, а останалите сили са разположени колкото е възможно по-близо до тази опора.

$$(3) \quad V_d = G_d \cdot \omega_{('V')} + Q_{d,max} \cdot \sum \eta_i \cdot \psi_j$$

7. Анализ на армировките (анализ по ULS)

При изчисляване за вертикални въздействия, ПГ се разглежда като плочогредово сечение (при конструиране на долна опънна армировка), а за хоризонтални - с правоъгълно (горен пояс, с конструиране на странична надлъжна армировка).

7.1. Изчисляване на огъване (с предварителна проверка местоположението на нулевата линия, при която: $b \equiv b_f$):

$$(4) \quad A_{s\ell,down}^{req.} = M_{Ed,max} / (f_{yd} \cdot \eta \cdot d), [cm^2] \leftarrow M_{Ed,max} \equiv M_v, \text{ (Фиг. 4)}$$

7.2. Вътрешната горна армировка се приема като площ:

$$(5) \quad A_{s\ell,top-in b_w}^{req.} = \max : (15\% \cdot A_{s\ell,down}^{prov.}; \min 2 N10).$$

7.3. Изчисляване на армировката, поемаща хоризонталната сила:

$$(6) \quad A_{s\ell,top-in corner of h_f}^{req.} = M_T / [f_{yd} \cdot (b_f - 2 \cdot c_{nom} - \phi)], [cm^2] \leftarrow M_T \equiv M_h$$

Възможността от едновременното действие на хоризонталните и вертикалните товари може да предизвика претоварване на натисковата зона, което ще доведе до нейното разрушаване. Затова огъващият момент, предизвикан от хоризонталната сила се поема само с армировка, поставена в двата края на плочата, а рамото на вътрешната двоица сили е равно на разстоянието между центровете на тежестта ѝ. Плочата увеличава коравината на ПГ в хоризонтална посока.

7.4. Проверки на срязване (работи се с действителната полезна височина на сечението, на база приета надлъжна армировка по т. 7.1.):

7.4.1. Проверка за „достатъчност“ на сечението:

$$(7) \quad V_{Ed,max} \leq 0,3 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \leftarrow b = b_w$$

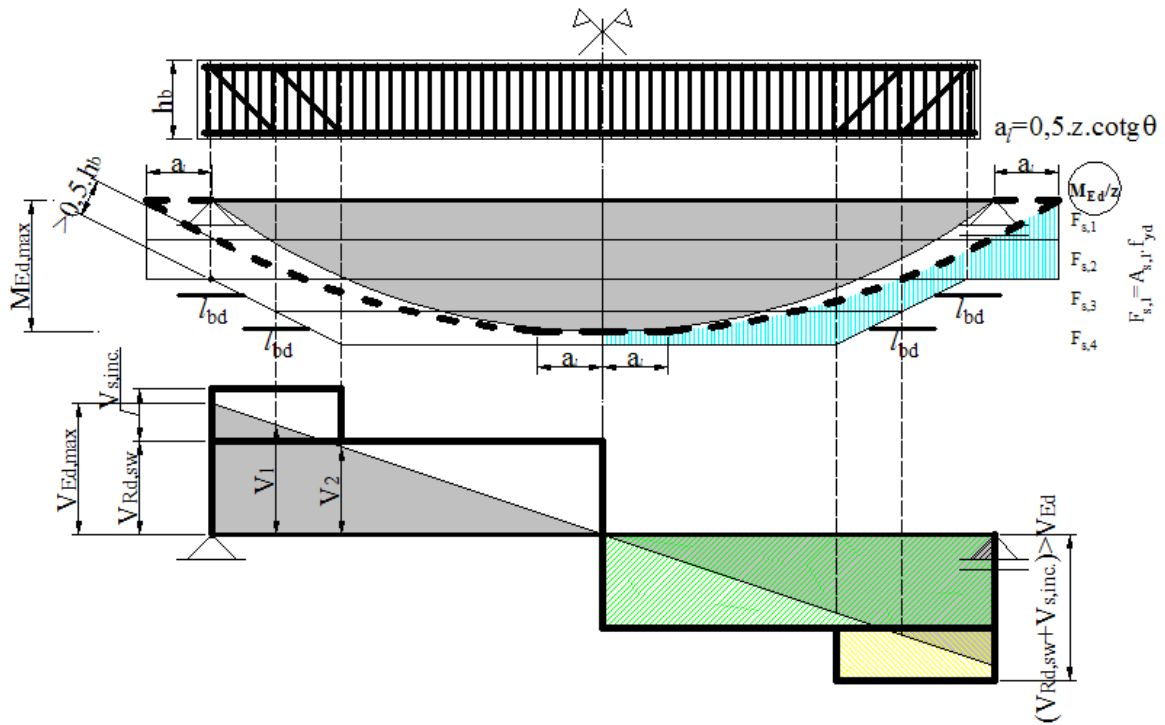
7.4.2. Проверка за необходимост от напречно армиране:

$$(8) \quad V_{Ed,max} \leq V_{Rd,c} = \max : (C_{Rd,c} \cdot K \cdot \sqrt{100 \cdot \rho_\ell \cdot f_{ck}} \cdot b_w \cdot d; 0,035 \cdot \sqrt{K^3} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d)$$

При ПГ, които са високи до 80 см, допълнителни наклонените пръти могат да бъдат конструирани с огъване под ъгъл $\alpha = 45^\circ$, докато при греди по-високи от 80 см този ъгъл $\alpha = 60^\circ$, (Фиг. 4). Необходимата площ на напречното сечение на огънатите пръти в първата, най-близка до опората наклонена равнина е:

$A_{s,inc.}^I = (-V_{Rd,sw} + V_{max}) / (f_{ywd} \cdot \sin \alpha)$. Необходимостта от конструиране на огънати пръти в следващата наклонена равнина се определя при графичното покритие на V -диаграмата. За следващата наклонена равнина: $A_{s,inc.}^{II} = (V_1 - V_{Rd,sw}) / (f_{ywd} \cdot \sin \alpha)$, където V_1 е напречната сила в мястото на долната огъвка на прътите от първата наклонена равнина. Първоначалното (за първа итерация) разстояние (хоризонтално), измерено между средите на наклонените участъци между два пръта- ориентиrowъчно е $\max \ell_h = 0,75 \cdot d$ или съгласно схематичният чертеж по-долу.

$$(9),(10),(11) \quad V_{Rd,sw} = (n_w \cdot A_{sw,1} \cdot f_{ywd} \cdot z) / s_w; \quad V_{s,inc.} = n \cdot A_{s,1} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha; \quad (V_{Rd,sw} + V_{s,inc.}) \geq V_{Ed,max}$$



Фиг. 4. Покритие на диаграми на огънната (M_{Ed}/z) и срязваща V_{Ed} - сили

8. Проверка на провисване (изчисляване по SLS):

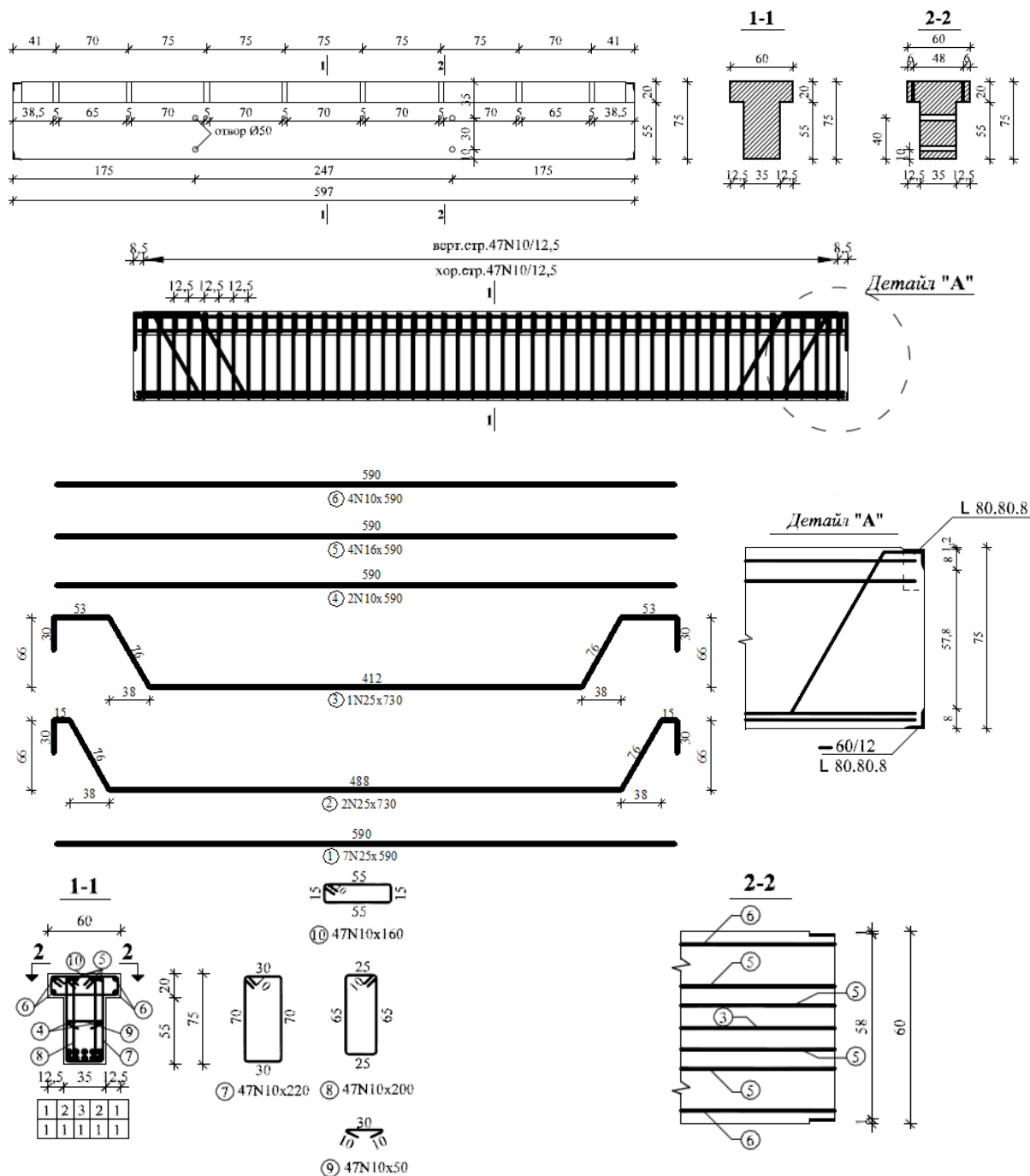
$$(12) \quad w_{max} = (5 \cdot M_{G_k} \cdot \ell_{eff.}^2) / (48 \cdot E_c \cdot I_y) \leq w_u = \ell_{eff.} / 600,$$

където: $G_k = G_d : \gamma_G, [kN/m']$, което е изчислено на база вертикалните натоварвания (без възможно предварително надвишение);

$M_{G_k} = G_k \cdot \omega_{("M")} + 0,5 \cdot Q_{v,k} \cdot \sum \eta_i \cdot \psi_j$ - максималната стойност на момента (характеристична стойност) в $[kN.m]$, определена чрез линията на влияние за огъващ момент "M";

$I_y, [cm^4]$ - инерционният момент на цялото сечение, спрямо хоризонталната ос.

3. **ПРИМЕРЕН ЧЕРТЕЖ-** на Фиг. 5 са показани кофражен и армировъчен планове с детайли на сглобяема (монтажна) ПГ от обикновен стоманобетон (без предварително напъгане на арматурата)



Фиг. 5. Котражен и армивъчен планове

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Ганчева Р., Бараков Т., Георгиев А., Милев Й., Ръководство по стоманобетонни конструкции, част 1, Сглобяеми едноетажни промишлени сгради, ВИАС, С., 1993
- [2] Памукчиев С., Стоманобетонни конструкции, общ курс, част 1, Техника, С., 2007
- [3] Танев Ст., Стоянов Л., Лесновски Б., Георгиев Т., Ръководство за изчисляване и конструиране на елементите на металните конструкции, ВНВСУ „Ген. Благой Иванов“ - София, С., 1984
- [4] Георгиев Г., Цветков Ст., Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетон по Еврокод 2, ВСУ, С., 2012

DESIGN OF R.C. BEAMS ABOUT THE CRANE ROADS ACCORDING TO EUROCODE

Stanislav Tsvetkov

st.cvetkov@vsu.bg

*University of structural engineering & architecture (VSU) "Lyuben Karavelov"-Sofia
175 Suhodolska str.
BULGARIA*

***Key words:** R.C. beam (static scheme- simple beam), analyzing and design by Eurocode 2*

***Abstract:** The report presents general information about the R.C. beams about the crane roads (crane beams), type "simple beam". Information on their work and ways of analysis is given. A practical procedure for calculating bars reinforcements (with additionally constructed inclined bars) is shown. Also shown are exemplary formwork and reinforcement plans with characteristic details.*