

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ НЕРОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ З ДВОМА ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ПЛИТАМИ НА ДІЮ УСАДКИ БЕТОНА

## CALCULATION METHOD STEEL REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS BRIDGES SPANS WITH TWO REINFORCED CONCRETE SLABS ON THE EFFECT OF CONCRETE SHRINKAGE



*Снитко Валерій Пилипович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри “Мости, тунелі та гідротехнічні споруди”, Національний транспортний університет, e-mail: [valeriysnytko@ukr.net](mailto:valeriysnytko@ukr.net), тел. 067 751 4373, +380442807978, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 218.*

<https://orcid.org/0000-0002-9530-4589>

**Анотація.** У статті розглянута методика розрахунку нерозрізних прогонових будов сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами на дію усадки бетону. До довготривалих процесів, що необхідно враховувати при розрахунку прогонових будов мостів крім повзучості відноситься і усадка бетону.

Нерозрізні прогонові будови сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами над проміжними опорами значно економічніші, за витратами металу, у порівнянні зі сталезалізобетонними мостами з однією плитою. Переріз сталезалізобетонної балки складається зі сталеві частини, що об'єднана з двома залізобетонними плитами. У статті наведено результати розрахунку нерозрізної сталезалізобетонної прогонової будови автодорожнього мосту з двома залізобетонними плитами за наведеною методикою.

**Об'єкт дослідження:** балки прогонової будови сталезалізобетонного мосту з двома залізобетонними плитами.

**Мета роботи.** Розробити методику розрахунку перерізів прогонових будов сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами на дію усадки бетону з урахуванням повзучості.

**Ключові слова:** прогонова будова мосту, сталезалізобетонна балка з двома залізобетонними плитами, усадка бетону, повзучість бетону.

Нерозрізні прогонові будови сталезалізобетонних мостів з двома залізобетонними плитами, що розміщуються над проміжними опорам, значно економічніші, за витратами металу, у порівнянні зі сталезалізобетонними мостами з однією верхньою плитою.

Методику розрахунку такої прогонової будови моста на дію згинального моменту  $M$  і нормативної сили  $N$  з урахуванням повзучості бетону наведено у роботах [3, 4].

Нижче наведемо методику розрахунку прогонової будови сталезалізобетонного мосту з двома залізобетонними плитами на дію усадки бетону.

Розглянемо переріз балки прогонової будови, що наведений на рисунку 1 у роботі [3].

Силкові фактори  $M$  і  $N$  відсутні, враховується лише дія усадки, що характеризується відносною деформацією  $\varepsilon_{yt}$ .

У сталі залізобетонному перерізі усадка бетону стримується арматурою плит і металеві балкою. В результаті в арматурі, металевій балці і в бетоні виникають урівноважені зусилля.

Приймаємо лінійний закон розподілу напружень у бетоні і сталевій частині перерізу по усій висоті сталезалізобетонної балки. Невідомими вважаємо напруження на момент часу  $t$  у бетоні на рівні

центрів тяжіння арматури верхньої і нижньої плит  $\sigma_{b, yt}^B$  і  $\sigma_{b, yt}^H$ , напруження в арматурі на тих самих рівнях  $\sigma_{r, yt}^B$  і  $\sigma_{r, yt}^H$ , напруження в сталевій балці на рівні верхньої і нижньої фібри  $\sigma_{s2, yt}$  і  $\sigma_{s1, yt}$ .

Припустимо, що невідомі напруження додатні (розтяг). Для визначення невідомих складаємо рівняння проєкцій діючих зусиль на вісь балки, рівняння моментів діючих зусиль відносно центру тяжіння арматури нижньої плити, два рівняння спільності деформацій бетону й арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит, два рівняння спільності деформації бетону та верхньої і нижньої фібри сталеві балки, а також рівняння, що випливає із гіпотези плоских перерізів.

Переходимо до складання рівнянь:

1) Рівняння проєкцій ( $\sum X=0$ )

$$\int_{A_{B1}} \sigma_{b, yt}^z \cdot dA_b + \int_{A_{B2}} \sigma_{b, yt}^z \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_{s, yt}^z \cdot dA_s + \sigma_{r, yt}^H \cdot A + \sigma_{r, yt}^B \cdot A' = 0; \quad (1)$$

2) Рівняння моментів ( $\sum M=0$ )

$$\int_{A_{B1}} \sigma_{b, yt}^z \cdot Z \cdot dA_b + \int_{A_{B2}} \sigma_{b, yt}^z \cdot Z \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_{s, yt}^z \cdot Z \cdot dA_s + \sigma_{r, yt}^B \cdot A' \cdot (h_0 - a') = 0; \quad (2)$$

де  $A_{B1}$  і  $A_{B2}$  - відповідно площі перерізу бетону нижньої і верхньої залізобетонних плит;

$A_s$  – площа перерізу сталеві балки;

$A'$  і  $A$  – відповідно сумарні площі перерізу верхньої і нижньої арматур плит.

Рівняння спільності деформацій записується на основі того, що алгебраїчна сума відносної деформації усадки бетону  $\epsilon_{yt}$  і відносна деформація бетону  $\epsilon_{b, yt}$ , що викликана усадковими напруженнями, дорівнює відноській деформації арматури. Теж відноситься і до сталеві балки.

Тоді

$$\epsilon_{yt} + \epsilon_{b, yt} = \epsilon_{r, yt}; \quad (3)$$

$$\epsilon_{yt} + \epsilon_{b, yt} = \epsilon_{s, yt}; \quad (4)$$

Враховуємо, що у початковій момент часу  $t=0$  з якою починається врахування усадки, напруження не виникають, тоді записуємо

$$\epsilon_{yt} + \int_0^t \frac{d\sigma_{b, yt}}{d\tau} \cdot \left( \frac{1}{E_r} + C_{tt} \right) d\tau = \frac{\sigma_{r, yt}}{E_r}; \quad (5)$$

Застосовуючи модифіковану теорію старіння [2] бетону і формулу

$$\epsilon_{bt} = \frac{1}{E_{b0}} \cdot (\sigma_{b0} \cdot K_1 + \sigma_{bt} \cdot K_2), \text{ та}$$

враховуючи, що  $\sigma_{b, y0} = 0$ , маємо

$$\epsilon_{b, yt} = \frac{\sigma_{b, yt} \cdot K_2}{E_{b0}}; \quad (6)$$

де  $E_{b0}$  - початковий модуль пружності бетону;

$K_1$  і  $K_2$  – коефіцієнти, що враховуються за формулами наведеними в [2] при прийнятті лінійної залежності.

$C_{t\tau}$  – міра повзучості бетону. Між напруженнями у бетоні у момент часу  $\tau$   $\sigma_{b\tau}$  і характеристикою повзучості бетону  $\varphi_t$  приймаємо лінійну залежність.

Тоді, рівняння спільності деформацій арматури і бетону будуть:

$$\sigma_{r, yt}^B = E_r \cdot \varepsilon_{yt} + n_r \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^B; \quad (7)$$

$$\sigma_{r, yt}^H = E_r \cdot \varepsilon_{yt} + n_r \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^H; \quad (8)$$

Рівняння спільності деформацій на рівні верхньої і нижньої межі сталеві балки і бетону :

$$\sigma_{s2, yt} = E_{st} \cdot \varepsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^{S2}; \quad (9)$$

$$\sigma_{s1, yt} = E_{st} \cdot \varepsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^{S1}; \quad (10)$$

Величина  $\varepsilon_{yt}$  - це деформація стиснення , тому її приймаємо з від'ємним знаком.

Підставляючи вирази (7), (8), (9) і (10) у рівняння рівноваги (1) і (2) і замінюючи  $\sigma_{b, yt}^Z$  дивись роботу [3] його значенням із формули (1) , а  $\sigma_{s, yt}^Z$  із формули (4) з врахуванням формул (2) і (3) маємо:

$$1) \beta_1 \cdot \sigma_{b, yt}^B + \gamma_1 \cdot \sigma_{b, yt}^H + E_r \cdot \varepsilon_{yt} \cdot m_{11} = 0; \quad (11)$$

$$2) m_5 \cdot \sigma_{b, yt}^B + m_6 \cdot \sigma_{b, yt}^H + E_r \cdot \varepsilon_{yt} \cdot m_{12} = 0; \quad (12)$$

Значення  $\beta_1, \gamma_1, m_5$  і  $m_6$  визначають за [3] формулами (22) , (23) , (25) і (26).

$$\text{де } m_{11} = \frac{D'+F'}{n_r} + A + A'; \quad (13)$$

$$m_{12} = \frac{[V'+B']}{n_r} + A' \cdot (h_0 - a'); \quad (14)$$

Тоді напруження у бетоні на момент часу  $t$  в центрах тяжіння верхньої і нижньої залізобетонних плит від усадки бетону з урахуванням повзучості будуть:

$$\sigma_{b, yt}^B = \eta_{yt}^B \cdot E_r \cdot \varepsilon_{yt}; \quad (15)$$

$$\sigma_{b, yt}^H = \eta_{yt}^H \cdot E_r \cdot \varepsilon_{yt}; \quad (16)$$

$$\text{де } \eta_{yt}^B = \frac{\gamma \cdot m_{12} - m_{11} \cdot m_6}{\beta_1 \cdot m_6 - \gamma_1 \cdot m_5}; \quad (17)$$

$$\eta_{yt}^H = \frac{m_5 \cdot m_{11} - \beta_1 \cdot m_{12}}{\beta_1 \cdot m_6 - \gamma_1 \cdot m_5}; \quad (18)$$

Напруження в арматурі визначають за формулами (7) і (8).

Для попередньо-напруженої арматури ці значення будуть становити втрати попереднього напруження, що виникають у наслідок усадки бетону.

Напруження у бетоні попередньо-напружених плит, що знайдені за формулами (15) і (16) будуть сумарними від самої усадки бетону і викликаних нею втрат напружень в арматурі.

Напруження у бетоні на рівні верхньої і нижньої межі сталеві балки від усадки бетону:

$$\sigma_{b, yt}^{S2} = \sigma_{b, yt}^B \cdot \frac{(h_0 - c')}{(h_0 - a')} + \sigma_{b, yt}^H \cdot \frac{(c' - a')}{(h_0 - a')}; \quad (19)$$

$$\sigma_{b, yt}^{S1} = \sigma_{b, yt}^B \cdot \frac{(-d)}{(h_0 - a')} + \sigma_{b, yt}^H \cdot \frac{(h_0 - a' + d)}{(h_0 - a')}; \quad (20)$$

Напруження в металевій балці від усадки бетону:

на рівні верхньої межі

$$\sigma_{s2, yt} = E_{st} \cdot \epsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^{S2}; \quad (21)$$

на рівні нижньої межі

$$\sigma_{s1, yt} = E_{st} \cdot \epsilon_{yt} + n_b \cdot K_2 \cdot \sigma_{b, yt}^{S1}; \quad (22)$$

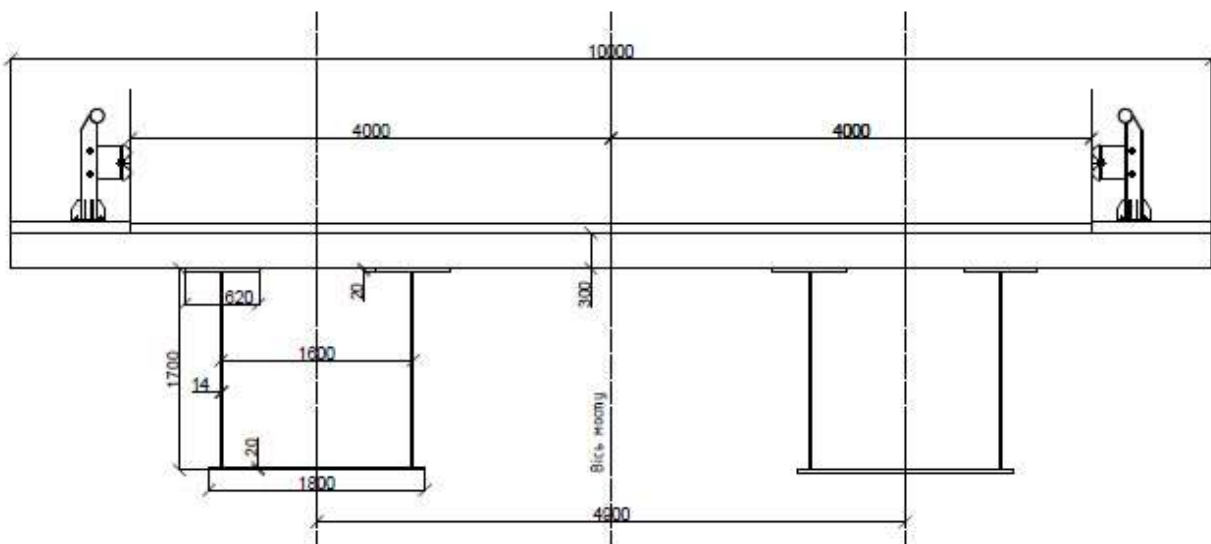


Рисунок 1 – Поперечний переріз прогонової будови мосту в середині крайнього прогону  
Figure 1 – Cross section of the runway structure of the bridge in the middle of the last span of bridge

При розрахунку нерозрізної прогонової будови сталезалізобетонного мосту з двома залізобетонними плитами, за схемою 3x33м, габаритом Г-8,0м (див. рис.1), за наведеною методикою, напруження від усадки бетону з врахуванням повзучості, при прийнятті характеристики повзучості  $\varphi_t = 1,82$  і відносній деформації усадки бетону  $\epsilon_{yt} = 2,68 \cdot 10^{-4}$  склали у перерізі над проміжною опорою: у бетоні на рівні центрів тяжіння арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит

$$\sigma_{b, yt}^B = 1,37 \text{ МПа}; \text{ (розтяг)};$$

$$\sigma_{b, yt}^H = 3,05 \text{ МПа}; \text{ (розтяг)}.$$

Напруження у бетоні на рівні верхньої межі сталеві балки і умовні напруження у бетоні на рівні нижньої межі сталеві балки:

$$\sigma_{b, yt}^{S2} = 1,51 \text{ МПа}; \text{ ("розтяг")};$$

$$\sigma_{b, yt}^{S1} = 3,19 \text{ МПа}; \text{ ("розтяг")}.$$

Напруження в арматурі на рівні центрів тяжіння арматури верхньої і нижньої залізобетонних плит

$$\sigma_{r,yt}^b = -34,46 \text{ МПа; (стиск);}$$

$$\sigma_{r,yt}^H = -11,0 \text{ МПа; ("стиск")}$$

Напруження в сталевій балці на рівні верхньої і нижньої межі її

$$\sigma_{s2,yt} = -34,1 \text{ МПа; (стиск);}$$

$$\sigma_{s1,yt} = -9,4 \text{ МПа; (стиск).}$$

Це говорить про необхідність врахування усадки бетону при визначенні напружено-деформованого стану сталезалізобетонних прогонових будов мостів.

### Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Правила проектування. – К: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.
2. Л.Д. Лившиц. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона. К: Издательское объединение “Вища школа”, 1975.
3. Снитко В.П. Інформаційні технології розрахунку сталезалізобетонних конструкцій мостів з двома залізобетонними плитами. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», вип. 97. К.:НТУ, 2016.
4. Снитко В.П. Розрахунок сталезалізобетонних нерозрізних прогонових будов мостів з двома залізобетонними плитами на дію нормальної сили з урахуванням повзучості. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», вип. 100. К.:НТУ, 2017.
5. Снитко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів: навч. Посібник. – К.:НТУ, 2005.
6. Снитко В.П. Проектування та розрахунок прогонових будов металевих мостів: навч. Посібник. – К.:НТУ, 2010.
7. Розрахунки і проектування мостів: навч. посібник, за редакцією д-ра техн. наук А.Лантух-Лященка, том. 1.-К.:НТУ, 2007.
8. ДБН В.2.3.-26:2010. Мости та труби. Правила проектування. – К: Мінрегіонбуд України, 2011.

### CALCULATION METHOD STEEL REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS BRIDGE SPANS WITH TWO REINFORCED CONCRETE SLABS ON THE EFFECT OF CONCRETE SHRINKAGE

**Snytko Valerii P.** Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: [valeriysnytko@ukr.net](mailto:valeriysnytko@ukr.net), тел. +380442807978, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1. <https://orcid.org/0000-0002-9530-4589>

**Summary:** The article is considered calculation method steel reinforced concrete continuous bridge spans with two reinforced concrete slabs on the effect of concrete shrinkage. For long-term processes that must be considered when calculating the span structures of bridges, besides creep, concrete shrinkage applies.

**Object of study:** composite steel and concrete span beam bridge with two reinforced concrete slabs.

**Purpose:** to develop a calculation method the cross section steel reinforced concrete bridges with two reinforced concrete slabs on the effect of concrete shrinkage considering concrete creep.

Continuous spans of steel reinforced concrete bridges with two reinforced concrete slabs over intermediate supports much more economically, in terms of metal consumption, compared to steel reinforced concrete bridges with one concrete slab. Cross section of a reinforced reinforced concrete beam consists of a steel part that combined with two reinforced concrete slabs. The article presents the results of the calculation of continuous steel-concrete superstructure of a road bridge with two reinforced concrete slabs by the above method.

### References

- 1.DBN V.2.3-14:2006. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. – K: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva, 2006.
2. L.D. Livshits. Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom vliyaniya usadki i polzuchesti betona. K: Izdatel'skoye ob'yedineniye “Vishcha shkola”, 1975.
3. Snytko V.P. Informatsiyi tekhnolohiyi rozrakhunku stalezalizobetonnykh konstruksiy mostiv z dvoma zalizobetonnymy plytamy. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo», vyp. 97. K.:NTU, 2016.
4. Snytko V.P. Rozrakhunok stalezalizobetonnykh nerozriznykh prohonovykh budov mostiv z dvoma zalizobetonnymy plytamy na diyu normal'noyi syly z urakhuvannyam povzuchosti. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo», vyp. 100. K.:NTU, 2017.
5. Snytko V.P. Proektuvannya stalezalizobetonnykh mostiv: navch. Posibnyk . – K.:NTU, 2005.
6. Snytko V.P. Proektuvannya ta rozrakhunok prohonovykh budov metalevykh mostiv: navch. Posibnyk. – K.:NTU , 2010.
7. Rozrakhunky i proektuvannya mostiv: navch. posibnyk, za redaktsiye d-ra tekhn. nauk A.Lantukh-Lyashchenka, tom. 1.-K.:NTU, 2007.
8. DBN V.2.3.-26:2010. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. – K: Minrehionbud Ukrayi-ny, 2011.