

РАСЧЕТ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ С РАЗНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ БЕТОНА В РАСТЯНУТОЙ И СЖАТОЙ ЗОНЕ И ЧАСТИЧНЫМ УЧЕТОМ РАБОТЫ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ БЕТОНА

Петров А. Н.¹, Игнатенко А. В.²

¹ Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

² Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Предлагаются алгоритмы подбора размеров поперечных сечений бетона и стального листа с предельными напряжениями в бетоне и стальном листе, а также с предельными коэффициентами армирования. Предельным является коэффициент армирования, при котором максимальные напряжения в бетоне и стальном листе будут предельными.

Ключевые слова: сталебетонная балка, бетон, стальной лист, предельные напряжения, предельный коэффициент армирования, приведенное сечение.

Введение

Сталебетонные конструкции в целом и сталебетонные балки в частности получают все большее распространение в строительстве. Эти конструкции, по сравнению с традиционными железобетонными, являются более экономичными. Таким образом, задача их оптимизации является актуальной.

Анализ публикаций

Вопросами расчета сталебетонных балок занимались многие авторы [1]–[5] и др. Во многих статьях уделяется внимание исследованию работы гибких анкеров [2], [3], формам разрушения сталебетонных балок [4], определению их несущей способности при разрушении по нормальному сечению и по контакту [5]. В [6] предложен расчет сталебетонных элементов с использованием теории Яшина.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является оптимизация расчета сталебетонных балок по несущей способности.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать методику расчета сталебетонных балок с учетом работы бетона в растянутой зоне.

Методика расчета сталебетонных балок

Введем понятие предельных напряжений. Предельными напряжениями будем считать максимальные напряжения, возникающие в бетоне и стальном листе, равные заданным. При проектировании балок обычно задаются характеристиками материалов, нормативными

или расчетными сопротивлениями. В результате расчета подбираются размеры поперечных сечений бетона и арматуры. Максимальные напряжения в бетоне и арматуре должны равняться заданным напряжениям. Эти напряжения и являются предельными.

Предельным коэффициентом армирования будем считать коэффициент армирования, при котором максимальные напряжения в бетоне и стальном листе будут предельными.

Введем следующие предпосылки:

1) в растянутой зоне бетона действуют напряжения с максимальным значением, равным нормативной призмической прочности бетона при растяжении $\sigma'_b = R_{bn}$, а по всей высоте в сжатой зоне действуют напряжения с максимальным значением, равным призмической прочности при сжатии $\sigma_b = R_{bn}$;

2) модуль деформации бетона E_b не зависит от напряжения;

3) в стальном листе действуют напряжения, равные пределу текучести $\sigma_s = R_{sn}$;

4) между бетоном и стальным листом абсолютно жесткое соединение;

5) применима гипотеза плоских сечений;

6) применим закон Гука.

Рассмотрим условие равновесия выделенного элемента dx сталебетонной балки (рис. 1, а). Действие левой части балки на сечение представим в виде изгибающего момента M_y . Действие правой части балки на сечение элемента представим в виде элементарных сил $\sigma \cdot dA$. От действия изгибающего момента верхняя часть бетона будет сжата, а

нижняя растягнута. Составим условие равновесия элемента dx . $\Sigma X = 0$;

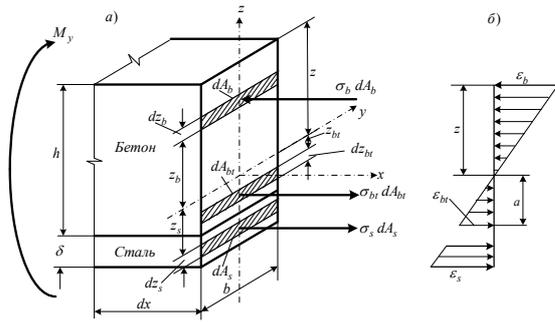


Рис. 1. Элемент сталебетонной балки

$$-\int_{A_b} \sigma_b \cdot dA_b + \int_{A'_{bt}} \sigma_{bt} \cdot dA'_{bt} + \int_{A_s} \sigma_s \cdot dA_s = 0. \quad (1)$$

Запишем пределы интегрирования:

$$-\int_z^0 \sigma_b \cdot dA_b + \int_{-a}^0 \sigma_{bt} \cdot dA'_{bt} + \int_{-(h+\delta-z)}^{-h-z} \sigma_s \cdot dA_s = 0. \quad (2)$$

Из курса сопротивления материалов известно, что в растянутой зоне нормальные напряжения определяются зависимостью

$$\sigma = \frac{z}{\rho} E. \quad \sigma_b = \frac{z_b}{\rho} E_b; \quad \sigma_{bt} = \frac{z_{bt}}{\rho} E_b; \quad \sigma_s = \frac{z_s}{\rho} E_s. \quad (3)$$

Здесь z_b ; z'_{bt} z_s – расстояния элементарных площадок до оси, ограничивающей высоту сжатой зоны бетона.

В этих формулах приведены выражения для определения напряжений в растянутой и сжатой зонах бетона и в стальном листе.

Учитывая, что $dA_b = b \cdot dz_b$, $dA'_{bt} = b \cdot dz_{bt}$, $dA_s = b \cdot dz_s$, подставим в (2) значения (3) и проинтегрируем:

$$-\int_z^0 \frac{z_b}{\rho} \cdot E_b \cdot b \cdot dz_b + \int_{-a}^0 \frac{z_{bt}}{\rho} \cdot E_b \cdot b \cdot dz_{bt} + \int_{-(h+\delta-z)}^{-h-z} \frac{z_s}{\rho} \cdot b \cdot dz_s = 0.$$

Подставим пределы интегрирования:

$$-\frac{E_b \cdot b \cdot z_b^2}{2 \cdot \rho} \Big|_z^0 + \frac{E_b \cdot b \cdot (z_{bt})^2}{2 \cdot \rho} \Big|_{-a}^0 + \frac{E_s \cdot b \cdot z_s^2}{2 \cdot \rho} \Big|_{-(h+\delta-z)}^{-h-z} = 0$$

и получим

$$\frac{E_b \cdot b \cdot z^2}{2 \cdot \rho} + \frac{E_b \cdot b}{2 \cdot \rho} (-a^2) + \frac{E_s \cdot b \cdot \delta}{2 \cdot \rho} (2 \cdot z - 2 \cdot h - \delta) = 0.$$

Введем обозначения

$$n = \frac{E_s}{E_b}; \quad (4)$$

после несложных преобразований получим

$$z^2 - a^2 + 2 \cdot \delta \cdot n \cdot z - 2 \cdot h \cdot n \cdot \delta - n \cdot \delta^2 = 0. \quad (5)$$

Решая квадратное уравнение относительно z , получим

$$z = n \cdot \delta \left[\sqrt{1 + \frac{n\delta(2h+\delta) + a^2}{(n \cdot \delta)^2}} - 1 \right]. \quad (6)$$

По выражению (6) определяется высота сжатой зоны бетона приведенного сечения.

Далее необходимо определить высоту растянутой зоны бетона. Для этого из рис. 2 запишем

$$\frac{\sigma_b}{z} = \frac{\sigma_{bt}}{a},$$

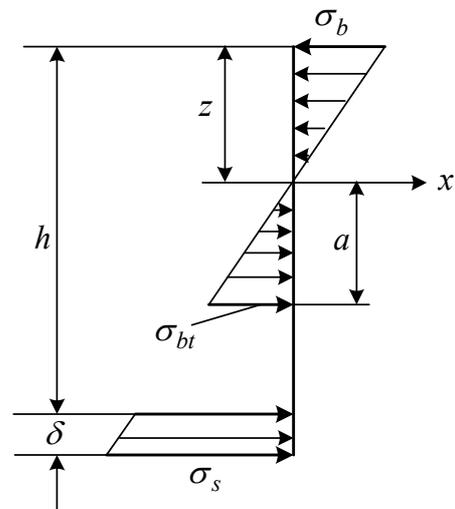


Рис. 2. К определению высоты растянутой зоны бетона

отсюда определяем

$$z = \frac{\sigma_b \cdot a}{\sigma_{bt}}. \quad z = 5,5 \quad (7)$$

Значение z , вычисленное по формуле (7), должно удовлетворять значению z в формуле (5). Подставим значение (7) в (5):

$$\frac{\sigma_b^2 \cdot a^2}{(\sigma_{bt})^2} - a^2 + 2 \cdot \delta \cdot n \cdot \frac{\sigma_b \cdot a}{\sigma_{bt}} - 2 \cdot h \cdot n \cdot \delta - n \cdot \delta^2 = 0.$$

Упростим и получим

$$\sigma_b^2 \cdot a^2 - a^2 (\sigma_{bt})^2 + 2 \cdot \delta \cdot n \cdot \sigma_b (\sigma_{bt}) \cdot a - 2 \cdot h \cdot n \cdot \delta \cdot (\sigma_{bt})^2 - n \cdot \delta^2 \cdot (\sigma_{bt})^2 = 0.$$

Или

$$a^2 \left[\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2 \right] + 2 \cdot \delta \cdot n \cdot \sigma_b (\sigma_{bt}) \cdot a - (\sigma_{bt})^2 \cdot n \cdot \delta \cdot (2h + \delta) = 0.$$

Решая квадратное уравнение относительно a , получим

$$a = \frac{\delta \cdot n \cdot \sigma_b \cdot \sigma_{bt}}{\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2} \times \left[\sqrt{1 + \frac{(2h + \delta) \left[\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2 \right]}{\delta \cdot n \cdot \sigma_b^2}} - 1 \right]. \quad (8)$$

Для определения по этой формуле значения a вначале необходимо определить толщину стального листа δ и высоту бетонного сечения h , которые нам неизвестны. Обычно при подборе размеров поперечного сечения они задаются высотой бетонного сечения, поэтому необходимо получить выражение для определения толщины стального листа в зависимости от величины h .

Для этого определим высоту сжатой зоны бетона, используя рисунок 2, для чего спроецируем все силы на ось X . $\Sigma X = 0$.

$$-b \cdot z \frac{1}{2} \sigma_b + \frac{1}{2} \sigma_{bt} \cdot a \cdot b + \sigma_s \cdot \delta \cdot b = 0;$$

Отсюда определяем высоту сжатой зоны бетона z :

$$z = \frac{2\sigma_s \cdot \delta + \sigma_{bt} \cdot a}{\sigma_b}. \quad (9)$$

Имея для определения высоты сжатой зоны бетона формулы (7) и (9), приравняем их:

$$\frac{2\sigma_s \cdot \delta + \sigma_{bt} \cdot a}{\sigma_b} = \frac{\sigma_b \cdot a}{\sigma_{bt}}.$$

Отсюда определяем

$$a = \frac{2\sigma_s \cdot \sigma_{bt} \cdot \delta}{\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2}. \quad (10)$$

Для получения толщины стального листа, выраженной через известные величины, приравняем выражение (8) и (10):

$$\frac{\delta \cdot n \cdot \sigma_b \cdot \sigma_{bt}}{\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2} \times \left[\sqrt{1 + \frac{(2h + \delta) \left[\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2 \right]}{\delta \cdot n \cdot \sigma_b^2}} - 1 \right] = \frac{2\sigma_s \cdot \sigma_{bt} \cdot \delta}{\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2}.$$

После некоторых преобразований получим формулу для определения толщины стального листа δ , выраженную через высоту бетонного сечения:

$$\delta = \frac{2 \cdot n \left[\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2 \right] \cdot h}{4 \cdot \sigma_s (\sigma_s + n \cdot \sigma_b) - n \left[\sigma_b^2 - (\sigma_{bt})^2 \right]}. \quad (11)$$

Исходя из опыта проектирования оптимальных по стоимости железобетонных элементов, рекомендуется принимать коэффициент армирования $\mu = 0,01 - 0,02$. Для удобства проектирования выразим все выражения через коэффициент армирования. Он определяется по формуле

$$\mu = \frac{b\delta}{bh_0} = \frac{\delta}{h_0}. \quad (12)$$

Так как в формулах введена высота бетонного сечения h , а не рабочая высота сжа-

той зоны балки h_0 , то выразим высоту бетонного сечения через рабочую высоту балки и коэффициент армирования μ .

Из выражения (12) определяем

$$h_0 = \frac{\delta}{\mu}. \quad (13)$$

Известно, что $h = h_0 - \frac{\delta}{2} = \frac{2h_0 - \delta}{2}$. Подставим значение (13):

$$h = h_0 - \frac{\delta}{2} = \frac{\delta}{\mu} - \frac{\delta}{2} = \frac{2\delta - \mu\delta}{2\mu} = \frac{\delta(2 - \mu)}{2\mu}. \quad (14)$$

Подставим (14) в (11) и определим оптимальный коэффициент армирования:

$$\mu = \frac{n(\sigma_b^2 - \sigma_{bt}^2)}{2\sigma_s(\sigma_s + n\sigma_b)}. \quad (15)$$

По этой формуле определяется значение оптимального по стоимости коэффициента армирования в зависимости от характеристик стали и бетона.

Теперь можно выразить через коэффициент армирования все характеристики балки.

Из выражения (14) определяем толщину стального листа:

$$\delta = \frac{2\mu \cdot h}{2 - \mu}. \quad (16)$$

Для определения напряжений в элементах сталебетона запишем уравнение статики (рис. 1, а) $\Sigma M_y = 0$:

$$M_y - \int_{A_b} \sigma_b \cdot dA_b \cdot z_b - \int_{A_{bt}} \sigma_{bt} \cdot dA'_{bt} \cdot z_{bt} - \int_{A_s} \sigma_s \cdot dA_s \cdot z_s = 0.$$

Подставим значения (3):

$$M_y - \int_{A_b} \frac{z_b}{\rho} E_b \cdot (z_b) \cdot dA_b - \int_{A_{bt}} \frac{z_{bt}}{\rho} E \cdot z_{bt} \cdot dA'_{bt} - \int_{A_s} \frac{z_s}{\rho} E_s \cdot z_s \cdot dA_s = 0.$$

Внесем из-под знака интеграла постоянные величины:

$$M_y - \frac{E_b}{\rho} \int_{A_b} (z_b)^2 \cdot dA_b - \frac{E}{\rho} \int_{A_{bt}} (z_{bt})^2 \cdot dA'_{bt} - \frac{E_s}{\rho} \int_{A_s} (z_s)^2 \cdot dA_s = 0.$$

Интегралы представляют собой осевые моменты инерции сечений относительно нейтральной оси:

$$J_b = \int_{A_b} (z_b)^2 \cdot dA_b; \quad J'_{bt} = \int_{A_{bt}} (z_{bt})^2 \cdot dA'_{bt}; \\ J_s = \int_{A_s} (z_s)^2 \cdot dA_s.$$

Тогда

$$M_y - \frac{E_b}{\rho} J_b - \frac{E}{\rho} J'_{bt} - \frac{E_s}{\rho} J_s = 0.$$

Отсюда следует, что

$$M_y = \frac{1}{\rho} (E_b \cdot J_b + E \cdot J'_{bt} + E_s \cdot J_s). \quad (17)$$

Из [1] известно, что $\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma}{E \cdot z}$.

Определим напряжение в сжатой зоне бетона. Для этого подставим значение $\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_b}{E_b \cdot z_b}$ в (17):

$$M_y = \frac{\sigma_b}{E_b \cdot z_b} (E_b \cdot J_b + E \cdot J'_{bt} + E_s \cdot J_s).$$

Используя (4), получаем, что

$$M_y = \frac{\sigma_b \cdot E_b}{E_b \cdot z_b} (J_b + J'_{bt} + n \cdot J_s)$$

Отсюда

$$\sigma_b = \frac{M_y \cdot z_b}{J_{np}}, \quad (18)$$

где z_b – расстояние от оси, ограничивающей высоту сжатой зоны бетона, до точки сжатого бетона, в которой определяется напряжение (наибольшие напряжения будут при условии, что $z_b = z$); J_{np} – приведенный

осевой момент инерции сталебетонного сечения относительно оси x , который определяется по формуле (рис. 1)

$$J_{np} = (J_b + J_{bt}' + n \cdot J_s),$$

а через размеры поперечного сечения получаем

$$J_{np} = \frac{b \cdot z^3}{3} + \frac{ba^3}{3} + \frac{b \cdot \delta^3}{12} n + n \cdot b \cdot \delta \left(h - z + \frac{\delta}{2} \right)^2. \quad (19)$$

Из формулы (19) определяем ширину балки b :

$$b = \frac{J_{np}}{\frac{z^3}{3} + \frac{a^3}{3} + \frac{n \cdot \delta^3}{12} + n \cdot \delta \left(h - z + \frac{\delta}{2} \right)^2}. \quad (20)$$

Определим напряжение в растянутой зоне бетона. Для этого подставим значение $\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_b'}{E \cdot z_b}$ в (12):

$$M_y = \frac{\sigma_{bt}}{E_b \cdot z_{bt}} (E_b \cdot J_b + E_b \cdot J_{bt}' + E_s \cdot J_s).$$

Используя (4), получим

$$M_y = \frac{\sigma_{bt} \cdot E_b}{E_b \cdot z_{bt}} (J_b + J_{bt}' + n \cdot J_s) = \frac{\sigma_{bt}}{z_{bt}} J_{np}.$$

Отсюда

$$\sigma_{bt} = \frac{M_y \cdot z_{bt}}{J_{np}}, \quad (21)$$

где z_{bt} – расстояние от оси, ограничивающей высоту сжатой зоны бетона, до точки растянутой зоны бетона, в которой определяется напряжение (наибольшие напряжения будут при условии, что $z_{bt} = a$).

Определим напряжение в стальном листе. Для этого подставим значение $\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_s}{E_s \cdot z_s}$ в (12):

$$M_y = \frac{\sigma_s}{E_s \cdot z_s} (E_b \cdot J_b + E_b \cdot J_{bt}' + E_s \cdot J_s).$$

Используя (4), получим

$$M_y = \frac{\sigma_s \cdot E_b}{E_s \cdot z_s} (J_b + J_{bt}' + n \cdot J_s) = \frac{\sigma_s}{n \cdot z_s} J_{np}.$$

Отсюда

$$\sigma_s = \frac{M_y \cdot z_s \cdot n}{J_{np}}, \quad (22)$$

где z_s – расстояние от оси, ограничивающей высоту сжатой зоны бетона, до точки в стальном листе, в которой определяется напряжение (наибольшие напряжения будут при условии, что $z_s = h - z + \delta$).

Выводы

Разработана методика расчета сталебетонных балок по несущей способности с разными характеристиками бетона в растянутой и сжатой зоне и частичным учетом работы растянутой зоны бетона.

Предложенная методика позволяет оптимизировать конструкцию сталебетонной балки за счет учета работы бетона в растянутой зоне.

Литература

- 1 Ying X., Qinghua H., Jie X., Qi G., Yihong W. Experimental and numerical study on static behavior of elastic concrete-steel composite beams // Journal of Constructional Steel Research. 2016. Vol. 123. P. 79–92.
- 2 Sudhir P. P., Keshav K. S. Tests of steel fibre reinforced concrete beams under predominant torsion // Journal of Building Engineering. 2016. Vol. 6. P. 157–162.
- 3 Воронков Р. В., Багатурия Ф. И. Исследование железобетонных перекрытий с внешней профилированной арматурой. – 1977. – № 6. – С. 11. // Бетон и железобетон. – 1977. – № 6. – С. 11.
- 4 Голосов В. И., Залесов А. С., Бирюков Г. П. Расчет конструкций с внешним армированием при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. – 1977. – № 6. – С. 14–17.
- 5 Чихладзе Э. Д., Арсланханов А. Д. Несущая способность сталебетонных плит // Бетон и железобетон. – 1990. – № 10. – С. 30–31.
- 6 Hsiao P. C., Lehman D. E., Roeder C. W. Improved Analytical Model for Special Concentrically Braced Frames // Journal of Constructional Steel Research. 2012. №. 73. P. 80–94.

7. Ashraf Mohamed Mahmoud. Finite element modeling of steel concrete beam considering double composite action // Ain Shams Engineering Journal. 2016. Vol. 7. Is.1. P. 73–88. DOI.org/10.1016/j.asej.2015.03.012.
8. Luan N. K., Bakhshi H., Ronagh H. R., Barkhordari M. A. Analytical solutions for the in-plane behavior of composite steel/concrete beams with partial shear interaction // Asian Journal of Civil Engineering. 2011. № 12(6). P. 751–771.

References

1. Ying X., Qinghua H., Jie X., Qi G., Yihong W. Experimental and numerical study on static behavior of elastic concrete-steel composite beams // Journal of Constructional Steel Research. 2016. Vol. 123. P. 79–92.
2. Sudhir P. P., Keshav K. S. Tests of steel fibre reinforced concrete beams under predominant torsion // Journal of Building Engineering. 2016. Vol. 6. P. 157–162.
3. Voronkov R. V., Bagaturiya F.I. Issledovanie zhelezobetonny'kh perekry'tij s vneshnej profilirovannoj ar elezobeton. – 1977. – №6. – S. 11. maturoj. //Beton i zhelezobeton. – 1977. –№6. – S.11.
4. Golosov V. I., Zalesov A. S., Biryukov G. P. Raschet konstrukcij s vneshnim armirovaniem pri dejstvii poperechny'kh sil //Beton i zhelezobeton. –1977. – № 6. – S. 14–17.
5. Chikhladze E. D., Arslankhanov A. D. Nesushhaya sposobnost' stalebetonny'kh plit //Beton i zhelezobeton.– 1990. –№10. –S. 30–31.
6. Hsiao P. C., Lehman D. E., Roeder C. W. Improved Analytical Model for Special Concentrically Braced Frames // Journal of Constructional Steel Research. 2012. №. 73. P. 80–94.
7. Ashraf Mohamed Mahmoud. Finite element modeling of steel concrete beam considering double composite action // Ain Shams Engineering Journal. 2016. Vol. 7. Is.1. P. 73–88. DOI.org/10.1016/j.asej.2015.03.012.
8. Luan N. K., Bakhshi H., Ronagh H. R., Barkhordari M. A. Analytical solutions for the in-plane behavior of composite steel/concrete beams with partial shear interaction // Asian Journal of Civil Engineering. 2011. № 12(6). P. 751–771.

Петров Анатолий Николаевич¹, к.т.н., доц. каф. строительства и гражданской инженерии, petrovbmg@ukr.net, тел. +38 095-60928-37,

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, 61002, Украина, м. Харьков, пр. Московский, 45.

Игнатенко Андрей Васильевич², к.т.н., доц. каф. мостов, конструкций и строительной механики, zamdecdbf@ukr.net, тел. +380672708630,

²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Розрахунок сталобетонних балок за несучою здатністю з різними характеристиками бетону в розтягнутій та стиснутій зонах з частковим врахуванням роботи розтягнутої зони бетону

Анотація. *Визначення мети й завдань.* Завданням дослідження є розроблення алгоритму підбору розмірів поперечних перерізів бетону і сталевій смуги з граничними напруженнями в бетоні та сталевій смугі, а також з граничними коефіцієнтами армування. *Граничним є коефіцієнт армування, за яким максимальні напруження в бетоні та сталевій смугі будуть граничними.* **Мета.** Метою дослідження є оптимізація розрахунку сталобетонних балок за несучою здатністю. Для досягнення цієї мети необхідно розробити методіку розрахунку сталобетонних балок з врахуванням роботи бетону в розтягнутій зоні. **Методика.** Методика дослідження полягає в використанні методів будівельної механіки та методів розрахунку будівельних конструкцій згідно з нормативними документами. **Результати.** Результати досліджень полягають в тому, що розроблено алгоритм розрахунку сталобетонних балок з врахуванням роботи бетону в розтягнутій зоні за граничними напруженнями. Граничними є напруження, які виникають в бетоні та сталевій смугі. За допомогою розрахувань можна підібрати розміри поперечних перерізів складових сталобетонної балки – бетону та сталевій смуги. За цих умов напруження повинні бути граничними. Граничним коефіцієнтом армування є такий коефіцієнт, за яким максимальні напруження будуть граничними. **Наукова новизна.** Наукова новизна досліджень полягає в запропонованому підході, який дозволяє врахувати роботу бетону в розтягнутій зоні, що приводить до підвищення несучої здатності сталобетонної балки. **Практична цінність.** Практична цінність полягає в тому, що запропонована методика та поданий алгоритм дозволяє підбирати розміри поперечних перерізів в бетоні та сталевій смугі таким чином, щоб напруження в елементі сталобетонної балки одночасно досягали граничних значень. Цей підхід дозволяє більш раціонально використовувати матеріали конструкції – сталь та бетон, що дозволяє збільшити несучу здатність конструкції в цілому, а також граничний коефіцієнт армування дозволяє варіювати різноманітні способи армування балок.

Ключові слова: сталобетонна балка, бетон, сталевий лист, граничні напруги, граничний коефіцієнт армування, приведений перетин.

Петров Анатолий Миколайович¹, к.т.н., доц. каф. будівництва і громадянської інженерії, petrovbmg@ukr.net, тел. +38 095-60928-37,

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, 61002, Україна, м. Харків, пр. Московский, 45

Ігнатенко Андрій Васильович², к.т.н, доц. каф. мостів, конструкцій та будівельної механіки, zamdecdbf@ukr.net, тел. +380672708630,

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Design of steel-concrete beams by bearing strength using various characteristics of concrete in both tension and compression areas, partially taking into account concrete tension area performance

Abstract. Problem statement. The research task is to develop the algorithm to select the dimensions of the lateral cross sections of concrete and a steel bar having stress limits as well as reinforcement ratio limits. A reinforcement ratio limit means a maximum stress for concrete and a steel bar. **Goal.** The research aims to optimize the design of steel-concrete beams to meet a bearing capacity criterion. To achieve this aim, it is necessary to develop the method of the design of steel-concrete beams taking into account the operation of concrete in a tension area. **Method.** The research method includes the use of structural mechanics methods and the methods to design structures in accordance with regulatory documents. **Results.** The research result is the algorithm to design steel-concrete beams taking into account concrete performance by stress limits in a tension area. Stress limits come into existence in concrete and a steel bar. As a result of calculation, it is possible to select the dimensions of the lateral cross sections of steel beam components – concrete and a steel bar. At the same time, stresses have to be limiting. A reinforcement ratio limit has a maximum stress. **Research novelty.** Research novelty is the approach proposed. It en-

ables you to take into account concrete performance in a tension area that results in an increase of steel-concrete beam bearing strength. **Practical value.** Practical value is expressed in the fact that the proposed method and the algorithm enable you to select the dimensions of the lateral cross sections of concrete and a steel bar in a way that stresses simultaneously have limit values in steel beam components. This approach allows using the structure materials – steel and concrete – in a more rational way. It enables you to increase the bearing strength of a structure. In addition, the reinforcement ratio limit allows you to vary the ways of beam reinforcement.

Key words: steel and concrete beam, concrete, steel sheet, ultimate stresses, ultimate reinforcement coefficient, reduced section.

Petrov Anatoliy Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor in the Construction and Civil Engineering Department, petrovbmg@ukr.net, tel. +380956092837

¹Petro Vasylenko Kharkov National Technical University of Agriculture, 45 Moskovskiy Prospekt, Kharkov, Ukraine, 61002

Ignatenko Andrey Vasilevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor in the Department of Bridges, Structures and Structural Mechanics, zamdecdbf@ukr.net, tel. +380672708630

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudrogo, Kharkov, Ukraine, 61002
