

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИХ РАСЧЕТА

УДК 624.016

Галинская Т.А., Муравлёв В.В., Овсий Н.А.

О ЕДИНОМ МЕТОДИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К РАСЧЁТУ СЕЧЕНИЙ СТАЛЕБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ИХ ОСИ, НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Предложены методические основы расчёта прочности нормальных сечений различных типов сталебетонных изгибаемых элементов, которые позволяют производить расчёт в зависимости от напряжённо-деформированного состояния (НДС) в момент разрушения их компонентов (бетона и конструкционного приведенного стального профиля). Основы расчёта позволяют решать две задачи: задачу по определению оптимального сечения приведенного конструктивного стального профиля (КПСР), которым армируется сечение сталебетонных изгибаемых элементов; задачу по проверке несущей способности нормального приведенного сечения различных типов сталебетонных изгибаемых элементов.

Действующие на сегодня положения расчёта сталежелезобетонных (СЖБ) изгибающих конструкций (элементов) [1, 2, 3] базируются на новой концепции расчёта, внедряя в практику метод предельных деформаций, который позволит приблизиться к реальному напряженно-деформированному состоянию СЖБ конструкций (элементов). В то же время полностью отказаться от методики расчёта по предельным напряжениям не удалось, так в упрощённых аналитических расчётах используются расчётные модели предельных состояний сечений элементов с прямоугольными эпюрами напряжений для обоих материалов (бетона и стали). Предложенные в нормах [1, 2, 3] расчётные положения не полностью отождествляют зависимость несущей способности СЖБ изгибаемого элемента с его НДС в момент разрушения, что приводит к переармированию его отдельных сечений, то есть к использованию прочностных свойств конструктивной металлической его составляющей не в полном объёме. Поэтому необходимо усовершенствование расчётных положений действующих норм [1, 2, 3], которые позволили бы создать общую методику расчёта и проектирования СЖБ изгибаемых элементов в зависимости от НДС их сечений в момент разрушения.

Цель исследования заключается в разработке общей методики расчета несущей способности нормального сечения сталежелезобетонных (СЖБ) балок в зависимости от напряженно-деформированного состояния (НДС) в момент разрушения их композитных материалов (бетона, конструкционного стального двутаврового профиля).

Несущая способность СЖБ балок непосредственно связана с условиями сцепления между её составляющими материалами: бетоном и конструкционным стальным профилем. Джонсон Р.П. в работе [4] отмечает три случая напряжённо-деформированного состояния СЖБ балок: нелинейно-композитный, когда

сцепление между бетоном и стальным профилем отсутствует; частично-композитный, когда связь между бетоном и профилем частичная; полностью композитный, когда между бетоном и стальным профилем существует полное сцепление. Поэтому для проведения дальнейших научных исследований в вопросах совершенствования расчётных положений действующих норм [1, 2, 3] была предложена классификация СЖБ балок по типу их общего приведенного сечения и случаями напряжённо-деформированного состояния, которые присущи их определённым композитным свойствам (табл.1). В данной статье авторами разрабатывался методический подход к расчёту нормальных к продольной оси сечений СЖБ изгибаемых элементов (балок), которые имеют полное сцепление между бетоном и конструкционным стальным профилем (случаи I-В, III-В по таблице 1).

Общая методика расчёта несущей способности нормального сечения СЖБ изгибаемых элементов в зависимости от НДС в момент разрушения их композитных материалов включает в себя решение двух задач: подбор сечения конструктивного приведенного стального двутаврового профиля (КПСДП), которым армируется нормальное приведенное сечение СЖБ изгибаемого элемента, это является прямой задачей оптимизационного проектирования; проверки прочности нормального приведенного сечения СЖБ изгибаемого элемента.

Таблица 1 – Классификация случаев деформирования СЖБ балок в зависимости от вида их приведенного сечения и условий сцепления между их компонентами

Тип общего приведенного сечения СЖБ балки		Деформированное состояние СЖБ балок на стадии разрушения в зависимости от вида сцепления между их компонентами		
		А	Б	В
		отсутствие сцепления	частичное сцепление	полное сцепление
I				
II				
III		Вариант не существует		

В результате типологического анализа различных вариантов армирования сечений СЖБ изгибаемых элементов были приняты варианты их общих приведенных расчётных сечений: для сечения СЖБ элемента с бетонной верхней полкой (случай I) на рис.1; для прямоугольного сечения СЖБ элемента (случай III) на рис. 2.

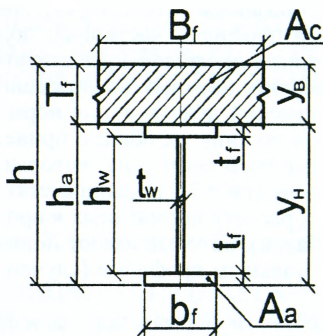


Рисунок 1 - Общее приведенное сечение СЖБ элемента с бетонной верхней полкой

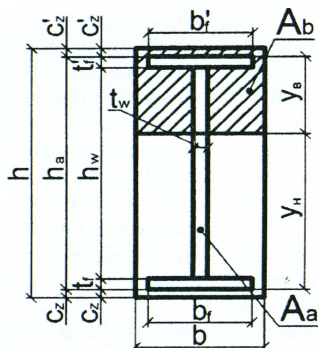


Рисунок 2 - Общее приведенное сечение прямоугольного СЖБ элемента

Задачи проверки прочности и подбора сечения КПСДП (жесткого армирования) нормального сечения СЖБ изгибаемого элемента базируются на следующих критериях:

- задача о подборе оптимального сечения A_a КПСДП, которым армировано нормальное сечение СЖБ изгибаемого элемента, решается на основе критерия:

$$A(\epsilon_{cu}; \epsilon_{au}) = A_a = \min, \quad (1)$$

где $A_a = 2 \times A_f + A_w$ - площадь сечения КПСДП, которое соответственно состоит из суммы площадей его полок и ребра; ϵ_{cu} - предельные относительные деформации сжатия в крайнем верхнем волокне сжатой зоны бетона нормального сечения СЖБ элемента, принимаемые равными $\epsilon_{cu} = 0,0035$ (при $f_{cd} = 8 \dots 60$ МПа) или в соответствии с данными норм [20]; ϵ_{au} предельные относительные деформации растяжения в крайнем нижнем волокне растянутой зоны КПСДП, которым армировано нормальное сечение СЖБ элемента, значения которых принимаются в соответствии с данными норм [1];

- задача проверки прочности нормального сечения СЖБ элемента базируется на критериях:

$$M(\epsilon_{cu}; \epsilon_a > \epsilon_{au}) = \max; M(\epsilon_{cu}; \epsilon_a) = \max; M(\epsilon_{cu}; \epsilon_a < \epsilon_{au}) = \max, \quad (2)$$

где M - максимальное значение изгибающего момента, который может воспринять нормальное приведенное сечение СЖБ элемента; ϵ_a - относительные деформации в крайнем нижнем волокне растянутой зоны КПСДП.

Для решения вышеотмеченных задач были приняты предпосылки расчёта, которые приведены в работах [5, 6, 7]. Предпосылки являются общими для всех расчётов СЖБ изгибаемых элементов (балок), которые имеют полное сцепление между бетоном и конструкционным стальным профилем (случаи I-B, III-B в табл. 1). Одни предпосылки расчёта были использованы на основании предпосылки расчёта, которые изложены в положениях действующих норм [1, 2, 3], другие были предложены авторами впервые.

Далее приводятся расчетные аналитические зависимости по решению задач проверки прочности и подбора сечения КПСДП (жесткого армирования) нормального прямоугольного сечения СЖБ изгибаемого элемента, которые были получены в результате числовых решений.

1. Решение задачи: подбор необходимого сечения КПСДП (A_a), которым армируется нормальное сечение СЖБ изгибаемого элемента. Целью задачи является определение оптимального сечения КПСДП СЖБ элемента, при котором

деформации в крайних верхней (бетонной) и нижней (стальной) фибрах его нормального сечения одновременно достигают соответственно предельных значений ϵ_{cu} и ϵ_{au} .

Оптимальную площадь сечения КПСДП (A_a) для СЖБ элемента прямоугольного сечения (случай III-B) предлагается определять по следующим зависимостям:

$$A_a = A_b \times \mu_{опт}; \quad \mu_{опт} = (1 - \Delta_\epsilon) / \{ \alpha_a \times [2 - (\Delta_h + \Delta_c) \times (1 + \Delta_\epsilon)] \}, \quad (3)$$

$$\mu_{опт} = (0,85 \times \beta_1 \times \Delta_\epsilon^2) / [\alpha_a \times (1 + \Delta_\epsilon)], \quad (4)$$

где $\alpha_a = E_a / E_b$ – коэффициент соотношения модулей упругости конструктивной стали и бетона; $\Delta_\epsilon = \epsilon_{cu} / \epsilon_{au}$ – коэффициент соотношения величин граничных относительных деформаций бетона (ϵ_{cu}) и КПСДП (ϵ_{au}); $\Delta_h = h_a / h$ – коэффициент соотношения величин высоты КПСДП (h_a) к общей высоте СЖБ элемента (h); $\Delta_c = C_z / h$ – коэффициент соотношения величины высоты защитного слоя бетона (C_z) к общей высоте СЖБ элемента (h); $\mu_{опт} = A_a / A_b$ – оптимальный коэффициент армирования конструктивным приведенным стальным двутавровым профилем нормального сечения СЖБ элемента; $A_b = h \times b$ – площадь нормального прямоугольного сечения СЖБ элемента.

В результате преобразований из зависимости (3) имеем возможность получить зависимости относительно величин Δ_ϵ и Δ_h :

$$\Delta_\epsilon = [1 + \alpha_a \mu \times (2 - \Delta_h - 2\Delta_c)] / [1 + \alpha_a \mu \times (\Delta_h + 2\Delta_c)], \quad (5)$$

$$\Delta_h = (1 + 2\alpha_a \mu - \Delta_\epsilon) / [\alpha_a \mu \times (1 + \Delta_\epsilon)] - 2\Delta_c. \quad (6)$$

Координаты нейтральной линии по высоте (h) прямоугольного сечения СЖБ элемента имеем возможность определить за зависимостями при $h = Y_B + Y_H$:

$$Y_B = h \times \{ [1 + \alpha_a \mu \times (2 - \Delta_h - 2\Delta_c)] / [2 \times (1 + \alpha_a \mu)] \} \quad (7)$$

$$Y_H = h \times \{ [1 + \alpha_a \mu \times (\Delta_h + 2\Delta_c)] / [2 \times (1 + \alpha_a \mu)] \} \quad (8)$$

В результате расчётов были получены численные зависимости между безразмерными коэффициентами соотношений Δ_ϵ , Δ_h , Δ_c и произведением коэффициентов $\alpha_a \mu_{опт}$. Так, значение произведения $\alpha_a \mu_{опт}$ в зависимости от величин коэффициентов соотношений Δ_h и Δ_ϵ для нормального приведенного прямоугольного сечения СЖБ элемента при отсутствии защитного слоя бетона в его нижней растянутой зоне, то есть когда $C_z = 0$ и коэффициент $\Delta_c = 0$, приведены в табл.2. Корректирование величины произведения коэффициентов $\alpha_a \mu_{опт}$ при $C_z > 0$, $\Delta_c > 0$ в зависимости от высоты защитного слоя бетона C_z осуществляется с помощью коэффициента k_C , значение которого приведены в табл.3:

$$\alpha_a \mu_{опт} (\text{при } \Delta_c > 0) = k_C \times \alpha_a \mu_{опт} (\text{при } \Delta_c = 0). \quad (9)$$

Таблица 2 – Значение произведения $\alpha_a \mu_{опт}$ при коэффициенте соотношения $\Delta_c = 0$ в зависимости от величины коэффициентов соотношений Δ_h та Δ_ϵ для СЖБ балок прямоугольного сечения

$\Delta_\epsilon \backslash \Delta_h$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,05	0,501	0,531	0,564	0,601	0,644	0,693	0,751	0,819	0,900	1,00
0,10	0,476	0,506	0,539	0,577	0,621	0,672	0,732	0,804	0,891	1,00
0,15	0,451	0,480	0,514	0,552	0,596	0,649	0,711	0,787	0,881	1,00
0,20	0,426	0,455	0,488	0,526	0,571	0,625	0,690	0,769	0,870	1,00
0,25	0,400	0,429	0,462	0,500	0,545	0,600	0,667	0,750	0,857	1,00
0,30	0,374	0,402	0,435	0,473	0,519	0,574	0,642	0,729	0,843	1,00

Таблица 3 – Значение коэффициента k_c , который корректирует значение произведения $\alpha_a \mu_{opt}$ в зависимости от коэффициентов соотношений Δ_c , Δ_h и Δ_e для СЖБ балок прямоугольного сечения

Δ_e	Δ_c	Δ_h									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,05	0,03	1,034	1,036	1,039	1,042	1,045	1,048	1,052	1,057	1,064	1,071
	0,1	1,125	1,133	1,142	1,153	1,166	1,181	1,199	1,221	1,249	1,284
	0,2	1,285	1,307	1,332	1,362	1,398	1,442	1,497	1,568	1,661	1,792
0,1	0,03	1,036	1,039	1,041	1,044	1,048	1,052	1,057	1,063	1,070	1,079
	0,1	1,132	1,141	1,152	1,164	1,179	1,196	1,218	1,244	1,278	1,324
	0,2	1,303	1,328	1,358	1,393	1,436	1,489	1,557	1,647	1,772	1,957
0,15	0,03	1,038	1,041	1,044	1,047	1,051	1,056	1,061	1,068	1,077	1,088
	0,1	1,139	1,149	1,161	1,176	1,192	1,213	1,238	1,271	1,313	1,371
	0,2	1,323	1,351	1,385	1,426	1,477	1,541	1,626	1,742	1,911	2,179
0,2	0,03	1,040	1,043	1,046	1,050	1,054	1,060	1,066	1,074	1,085	1,099
	0,1	1,146	1,158	1,171	1,188	1,207	1,231	1,261	1,300	1,353	1,429
	0,2	1,343	1,375	1,414	1,462	1,522	1,600	1,706	1,857	2,091	2,500
0,25	0,03	1,042	1,045	1,048	1,053	1,058	1,064	1,071	1,081	1,094	1,111
	0,1	1,154	1,167	1,182	1,200	1,222	1,250	1,286	1,333	1,400	1,500
	0,2	1,364	1,400	1,444	1,500	1,571	1,667	1,800	2,000	2,333	3,000
0,3	0,03	1,044	1,047	1,051	1,056	1,061	1,068	1,077	1,088	1,104	1,125
	0,1	1,161	1,176	1,193	1,213	1,239	1,271	1,313	1,371	1,456	1,591
	0,2	1,385	1,426	1,477	1,542	1,627	1,743	1,912	2,182	2,677	3,889

Оптимальную площадь сечения КПСДП (A_a) СЖБ элемента прямоугольного сечения определяем по зависимостям (3), (4), (9), задавшись предварительно исходными величинами: размерами сечения балки h , b и C_z ; прочностными характеристиками бетона и стали: E_c , E_a , ϵ_{cu} и ϵ_{au} ; соотношением высот сечений КПСДП и элемента: $\Delta_h = h_a/h$.

Оптимальную площадь сечения КПСДП (A_a) для СЖБ элемента с бетонной верхней полкой (случай I-B) предлагается определять по следующим зависимостям:

$$A_a = A_b \times \mu_{opt}; \quad \mu_{opt} = (\Delta_e \times (2 \Delta_h + 1) - 1) / \{ \alpha_a \times [2 + \Delta_h \times (1 - \Delta_e)] \}, \quad (10)$$

где значение коэффициентов α_a , Δ_e , смотри в пояснениях к зависимостям (3) и (4); $\Delta_h = h_a/T_f$ – коэффициент соотношения величин высоты КПСДП (h_a) к высоте верхнего бетонного пояса (T_f) СЖБ элемента; $\Delta_e = C_z/h$ – коэффициент соотношения величины высоты защитного слоя бетона (C_z) к общей высоте СЖБ элемента (h); $\mu_{opt} = A_a/A_c$ – оптимальный коэффициент армирования конструктивным приведенным стальным двутавровым профилем нормальной сечения СЖБ элемента; $A_c = V_f \times T_f$ – площадь сечения верхней бетонной полки СЖБ элемента.

В результате преобразований из зависимости (10) имеем возможность получить зависимости относительно величин Δ_e и Δ_h :

$$\Delta_e = [1 + \alpha_a \mu \times (2 + \Delta_h)] / [1 + \Delta_h \times (\alpha_a \mu + 2)], \quad (11)$$

$$\Delta_h = (1 + 2\alpha_a \mu - \Delta_e) / [\alpha_a \mu \times (1 - \Delta_e) + 2\Delta_e]. \quad (12)$$

Координаты нейтральной линии по высоте сечения (h) СЖБ элемента с бетонной верхней полкой имеем возможность определить по зависимостям при $h = Y_B + Y_H = T_f + h_a$:

$$Y_B = [T_f \times \alpha_a \mu \times (1 + \Delta_h)] / [2 \times (1 + \alpha_a \mu)], \quad (13)$$

$$Y_H = \{ T_f \times [\Delta_h \times (2 + \alpha_a \mu) + 1] \} / [2 \times (1 + \alpha_a \mu)]. \quad (14)$$

В результате расчётом были получены численные зависимости между безразмерными коэффициентами соотношений Δ_ϵ , Δ_h и произведением коэффициентов $\alpha_a \mu_{\text{опт}}$. Так, значение произведения $\alpha_a \mu_{\text{опт}}$ в зависимости от величин коэффициентов соотношений Δ_h и Δ_ϵ для нормального приведенного сечения СЖБ элемента с бетонной верхней полкой приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Значение произведения $\alpha_a \mu_{\text{опт}}$ в зависимости от величины коэффициентов соотношений Δ_h та Δ_ϵ для сечений СЖБ двутавровых балок с бетонным верхним поясом

$\Delta_\epsilon \backslash \Delta_h$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,0043
0,10	-	-	-	-	0,0154	0,0405	0,0602	0,0761	0,0891	0,1000
0,15	-	-	0,0110	0,0648	0,1040	0,1338	0,1572	0,1761	0,1917	0,2048
0,20	-	0,0000	0,0909	0,1538	0,2000	0,2353	0,2632	0,2857	0,3043	0,3200
0,25	-	0,0714	0,1765	0,2500	0,3043	0,3462	0,3793	0,4063	0,4286	0,4474
0,30	-	0,1471	0,2683	0,3542	0,4182	0,4677	0,5072	0,5395	0,5663	0,5889
0,35	0,0188	0,2272	0,3670	0,4674	0,5428	0,6017	0,6448	0,6875	0,7197	0,7470

Оптимальную площадь сечения КПСДП (A_a) для СЖБ двутаврового элемента с бетонным верхним поясом определяем по зависимости (10), задавшись предварительно исходными величинами: размерами сечения его бетонного верхнего пояса V_f и T_f ; прочностными характеристиками бетона и стали: E_c , E_a , ϵ_{cu} и ϵ_{au} ; соотношением высот сечений КПСДП и элемента: $\Delta_h = h_a / T_f$.

2. Решение задачи: проверка прочности нормального сечения СЖБ изгибаемого элемента. Целью задачи является определение предельного значения параметра изгибающего момента (M_u) заданного нормального сечения СЖБ изгибаемого элемента и сравнение его с действующим на него моментом (M) от внешних нагрузок:

$$M_u \geq M. \quad (15)$$

В результате обобщения были выделены три отдельных случая НДС СЖБ изгибаемых элементов на стадии разрушения или при предельном их состоянии в зависимости от положения нейтральной оси: для СЖБ двутавровых балок с бетонным верхним поясом (см. рис. 3); для СЖБ балок прямоугольного сечения (см. рис. 4):

- случай "а": когда в крайнем верхнем волокне сжатого бетонного участка сечения относительные деформации бетона достигают величины предельных деформаций сжатия $\epsilon_b = \epsilon_{cu}$, а в крайнем нижнем растянутом волокне относительные деформации КПСДП изменяются в пределах $\epsilon_a > \epsilon_{au}$, то есть существует зона пластических деформаций;

- случай "б": когда в крайних волокнах сечения относительные деформации бетона достигают величины $\epsilon_b = \epsilon_{cu}$, а относительные деформации КПСДП - величины $\epsilon_a = \epsilon_{au}$;

- случай "в": когда в крайних волокнах сечения относительные деформации бетона достигают величины $\epsilon_b = \epsilon_{cu}$, а относительные деформации КПСДП изменяются в пределах $\epsilon_a < \epsilon_{au}$.

Общие уравнения равновесия для каждого из случаев НДС нормального сечения СЖБ элемента с бетонной верхней полкой (рис. 3) или для каждого из

случаев НДС нормального прямоугольного сечения СЖБ элемента (рис. 4) составляют:

- для случаев 1а, 2а:

$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 + F_a^{pl} \times z_3; \quad (16)$$

- для случаев 1б, 1в, 2б, 2в:

$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2; \quad (17)$$

- для случая 3а:

$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 + F_a^{pl} \times z_3 + F_a' \times z_4; \quad (18)$$

- для случаев 3б, 3в:

$$M_u = F_c \times z_1 + F_a \times z_2 + F_a' \times z_4, \quad (19)$$

где F_c ; F_a' ; F_a ; F_a^{pl} – суммарные нормальные внутренние усилия по высоте сечения СЖБ элемента (балки): соответственно в его сжатой зоне бетона и в конструкционном стальном профиле на участках сжатия и растяжения, которые могут работать как в упругой, так и пластической стадиях; z_1 ; z_2 ; z_3 ; z_4 – расстояния по вертикали от усилий к нейтральной линии сечения (см. рис. 3 и рис. 4).

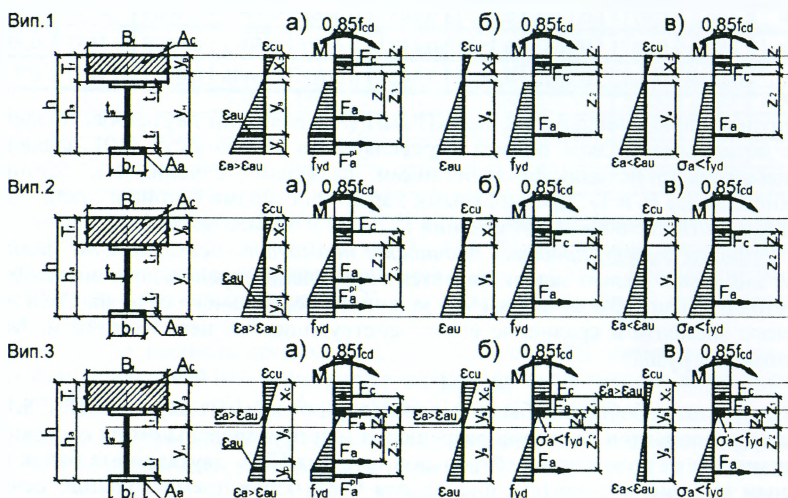


Рисунок 3 – Случаи напряжённо-деформированного состояния нормальных сечений СЖБ двутавровых балок с бетонным верхним поясом в зависимости от положения нейтральной оси (случай I-В)

Расчёт несущей способности нормального приведенного прямоугольного сечения СЖБ элемента (случай III-В) при заданных параметрах (ϵ_{cu} ; ϵ_{au} ; C_2 ; E_c ; E_a ; f_{cd} ; f_y ; $A_b = h \times b$; $A_a = 2 \times h_f \times b_f + h_w \times t_w$) проводим в следующей последовательности:

- на первом этапе проверяем условие:

$$\alpha_m \mu \geq k_c \times \alpha_m \mu_{онт}, \quad (20)$$

если условие удовлетворяется, то НДС нормального прямоугольного сечения СЖБ элемента соответствует НДС за случаем “в”, а если нет – то НДС за случаем “а”, а при условии $\alpha_m \mu = k_c \times \alpha_m \mu_{онт}$ – НДС прямоугольного сечения СЖБ элемента соответствует НДС за случаем “б” (см. рис. 4);

- на втором этапе расчёта определяем положение нейтральной оси по отношению к КПСДП по условию:

$$h - Y_B \leq h_a + C_z, \quad (21)$$

где величину расстояния Y_B определяем по зависимости (7), а величина $h_a = 2 \times h_r + h_w$, если условие (21) удовлетворяется, то нейтральная ось пересекает сечение КПСДП (случай 3), если нет, то нейтральная ось проходит выше сечения КПСДП (случай 1), а при условии $h - Y_B = h_a + C_z$ - нейтральная ось в нормальном прямоугольном сечении СЖБ элемента проходит по верхней грани сечения КПСДП, то есть случай 2;

• на третьем этапе расчёта составляем уравнения равновесия изгибаемых моментов соответственно определённому ранее случаю НДС нормального прямоугольного сечения СЖБ элемента и проверяем по зависимости (15) соблюдение условия его прочности.

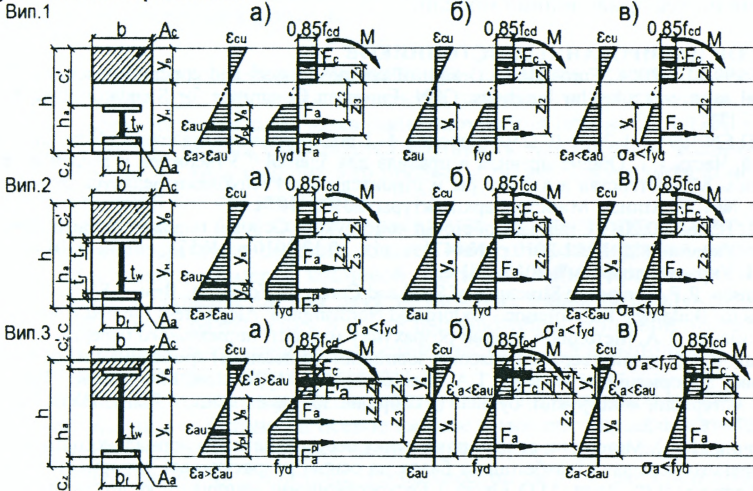


Рисунок 4 – Случаи напряжённо-деформированного состояния прямоугольных сечений СЖБ балок в зависимости от положения нейтральной оси (случай III-B)

Расчёт несущей способности нормального приведенного сечения СЖБ элемента с бетонной верхней полкой (случай I-B) при заданных параметрах (ϵ_{cu} ; ϵ_{au} ; E_c ; E_s ; f_{cd} ; f_y ; $A_c = B \times T_f$; $A_a = 2 \times h_r \times b_r + h_w \times t_w$) проводим в следующей последовательности:

- на первом этапе проверяем условие:

$$\alpha_a \mu \geq \alpha_a \mu_{отр}, \quad (22)$$

если условие удовлетворяется, то НДС нормального сечения СЖБ элемента с бетонной верхней полкой соответствует НДС в случае “в”, а если нет – то в случае “а”, а при условии $\alpha_a \mu = \alpha_a \mu_{отр}$ – НДС в случае “б” (см. рис. 3);

- на втором этапе расчёта определяем положение нейтральной оси по отношению к КПСДП по условию:

$$h - Y_B \leq h_a, \quad (23)$$

где величину расстояния Y_B определяем по зависимости (10), а величина $h_a = 2 \times h_r + h_w$, если условие (23) удовлетворяется, то нейтральная ось пересекает сечение КПСДП (случай 3), если нет, то нейтральная ось проходит выше сечения КПСДП (случай 1), а при условии $h - Y_B = h_a$ - нейтральная ось проходит по верхней грани сечения КПСДП (случай 2);

- на третьем этапе расчёта составляем уравнения равновесия изгибаемых моментов соответственно определённому ранее случаю НДС нормального сечения СЖБ элемента с бетонной верхней полкой и проверяем по зависимости (15) соблюдение условия его прочности.

Вывод: изложены основные положения методики расчёта несущей способности нормального приведенного сечения сплошных прямоугольных СЖБ элементов и СЖБ двутавровых элементов с бетонной верхней полкой в зависимости от НДС бетона и КПСДП. Предложенные зависимости позволят разграничить случаи расчёта несущей способности СЖБ изгибаемых элементов, которые имеют полное сцепление между бетоном и конструкционным стальным профилем, что, в свою очередь, даст возможность упростить и сам процесс их расчёта по деформационной модели.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, European Committee for Standardisation, Brussels, 2004. – 118 p.
2. ТКП EN 1994-1-1-2009 (02250) Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий // Утвержден и введен в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404.- Минск: Минстройархитектуры, 2010.- 107 с.
3. ДБН В.2.6-160:2010 Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: Затв. Міністерством України від 15.11.2010 р №447 та від 30.12.2010 р. №571, чинні з 01.09.2011 р.- К.: ДП Укрархбудінформ", 2010. - 81 с.
4. Johnson, R.P. Composite Structures of Steel and Concrete. Volume 1: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings/ R.P. Johnson.- Oxford and Northampton: Alden Press Limited, 1994.- 188 p.
5. Галінська, Т.А. Методичні основи розрахунку міцності нормального перерізу сталебетонних балок із бетонним верхнім поясом і зовнішнім (винесеним) армуванням на основі розрахункової деформаційної моделі / Т.А. Галінська, В.В. Муравльов, М.О. Овсій // Ресурсоekonomні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП.- 2013. – Вип. 27. – С. 41-56.
6. Кушнір, Ю.О. Методичні основи розрахунку несучої здатності нормального прямокутного приведенного перерізу сталебетонних балок на основі розрахункової деформаційної моделі / Ю.О.Кушнір, В.Ф. Пенц, М.О. Овсій // Ресурсоekonomні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП.- 2012. – Вип. 24. – С. 167-179.
7. Овсій, М.О. Методичні основи розрахунку несучої здатності нормального перерізу сталебетонних двотаврових балок із бетонним верхнім поясом на основі розрахункової деформаційної моделі / М.О. Овсій, В.Ф. Пенц, Т.А. Галінська // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: Полт.НТУ.- 2012. – Вип. 3 (33). – С. 152-161.

УДК 692.522.3

Гиль А.И., Гринёв В.Д.

К РАСЧЁТУ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА МОНТАЖНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

В настоящее время существует достаточное количество методов расчёта строительных конструкций на монтажные воздействия. Особый интерес вызывают расчёты для многопустотных плит перекрытий. Рассмотрим существующие методы расчёта таких конструкций в стадии монтажа.

Одним из основных расчётов можно считать расчёт монтажных петель. По данной методике [1, с. 86] вес конструкции (в качестве примера рассмотрена многопустотная плита с круглыми пустотами) при её подъёме может быть пе-