

Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 669.04:624

DOI: 10.14529/build210103

ПОКРЫТИЕ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ШИРОКИМИ БАЛКАМИ КОРОбЧАТОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТУПЕНЧАТО ПЕРЕМЕННОЙ ВЫСОТЫ

И.И. Шишов, М.С. Лисятников, С.И. Рощина, А.В. Лукина

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
г. Владимир, Россия*

Предлагается сборно-монолитное покрытие одноэтажного промышленного здания, состоящее из стропильных балок шириной 3 м, коробчатого поперечного сечения, ступенчато переменной высоты, ограниченной параболой третьей степени. Опираются балки на подстропильные конструкции, устанавливаются вразрядку и соединяются монолитной вставкой, дополняющей плиту верхнего пояса балки до единой плиты покрытия. Стропильные балки выполняют одновременно несущую и ограждающую функции. Высота покрытия в середине пролета 1,5 м вместо 3,75 м в типовом решении – при настиле ребристых плит по стропильным фермам. Покрытие отличается простотой устройства: минимально число подъемов и объем монтажной сварки, не требуется временных креплений, допускается совмещение монтажа и устройства монолитных вставок; конфигурация покрытия упрощает организацию водоотвода. Приводятся результаты для зданий с пролетами до 24 м со стропильной балкой шириной 3,0 м коробчатого поперечного сечения ступенчато переменной высоты.

Ключевые слова: железобетонная стропильная балка, промышленное здание, расчет на прочность, расчет по прогибам, усилия в арматуре, образование трещин.

Введение

Производственные здания большой полезной площади требуются для многих отраслей промышленности. Обычно это здания каркасного типа с колоннами, защемленными в фундаментах, стропильными балками или фермами, перекрывающими пролеты, по которым устраивается настил из ребристых плит. При большом шаге колонн по ним вдоль цеха монтируются подстропильные конструкции, дающие дополнительные опоры стропильным. Недостатки такого решения известны: конструкции довольно громоздки, совместность работы ригеля и ребристых плит не обеспечена, покрытие имеет большую высоту. Устранение их – весьма актуальная задача.

В работе [1] предлагается стропильная конструкция в виде невысокой рамы двускатного очертания со сборно-монолитным верхним поясом, в состав которого входит монолитная бетонная вставка, вовлекающая в работу конструкции торцевых ребер и часть полки ребристых плит.

В работе [2] предложена пространственная стропильная конструкция небольшой высоты, состоящая из двух плоских рам, соединенных перемычками в местах опирания ребристых плит. Верхний пояс коробчатого сечения шириной 2 м расположен в уровне плит, соединен с ними жестко и выполняет одновременно несущую и ограждающую функции. Шаг поперечных рам здания увеличен до 18 м.

Шаг поперечных рам здания увеличен до 18 м.

В работах [3–5] стойки стропильной рамы выполнены из двух перекрестных стенок, одни из которых направлены вдоль рамы и сообщают ей наибольшую жесткость, другие перпендикулярны и дают опоры ребристым плитам. Между торцами плит укладывается монолитный бетон, частично включающий плиты в состав ригеля, что и позволяет уменьшить высоту покрытия.

В работах [6, 7] ригель состоит из двух плоских рам и общего верхнего пояса коробчатого сечения шириной 1,8 м, выполняющего одновременно несущую и ограждающую функции. Опираются ригели на спаренные колонны – две колонны на небольшом расстоянии друг от друга.

В работах [8, 9] рассматривается консольно-балочная подстропильная система одноэтажного промышленного здания, состоящая из балок двух типов: первые опираются на спаренные колонны и имеют консоли в обе стороны, вторые опираются на консоли первых. Торцы смежных балок второго типа соединяются сверху стержнями внешнего армирования, которые при нагружении балок натягиваются и создают разгружающие моменты. Это уменьшает расход бетона и позволяет армировать балки стержневой арматурой классов А500С или А400 без предварительного напряжения,

что снижает трудоемкость изготовления и стоимость балок.

В работах [10, 11] приводится экспериментальное исследование сборно-монолитного покрытия и расчет его элементов с учетом физической нелинейности деформирования бетона и арматуры.

В работах [12, 13] представлено сборно-монолитное покрытие одноэтажного производственного здания при пролетах 18, 24, 30 м и увеличенном шаге поперечных осей.

Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов приводятся в работе [14].

Нелинейные диаграммы деформирования бетона и арматуры, рекомендованные СП, применяются в работах [15, 16], а в работе [17] с учетом неупругих деформаций бетона растянутой зоны определяется момент образования трещин при изгибе.

Проектирование железобетонных конструкций по европейским нормам приводится в работах [18–20].

Методика исследования

Мы предлагаем для зданий с пролетами до 24 м стропильную балку шириной 3,0 м коробчатого поперечного сечения ступенчато переменной высоты (рис. 1). Балка имеет три участка разной высоты, причем первый и второй состоят из двух частей. Высота балки ограничивается одной парой третьей степени. Балки устанавливаются на

подстропильные конструкции вразрядку с промежутками в 3,0 м и соединяются вставками монолитной плиты по несъемной опалубке из деревянных щитов толщиной 40 мм. Между щитами с определенным шагом зажимаются поставленные на ребро металлические полосы шириной 65 мм и толщиной – по расчету – ребра, позволяющие в расчете балки учитывать всю ширину полки и служащие направляющими при укладке монолитного бетона.

Для примера рассматривается балка пролетом 24 м. В расчетное сечение включаем одно ребро с примыкающими частями плиты: половиной полки и половиной монолитной вставки (рис. 2).

Размеры d , d_2 , h_1 , h_2 постоянны, h изменяется ступенчато в соответствии с рис. 1. Толщина ребра d_1 на первом участке 0,12 м, на втором и третьем 0,08. Применяется бетон класса В40, арматура стержневая А500С без предварительного напряжения. Опирание на подстропильные конструкции предполагается шарнирным.

Расчет на прочность производится по предельному состоянию, исходя из следующих предпосылок:

- в сжатой зоне напряжения в бетоне во всех точках одинаковы и равны расчетному сопротивлению бетона R_b ;
- сопротивление бетона растянутой зоны принимается равным нулю;
- напряжения в арматуре растянутой зоны равны расчетному сопротивлению арматуры R_s ;

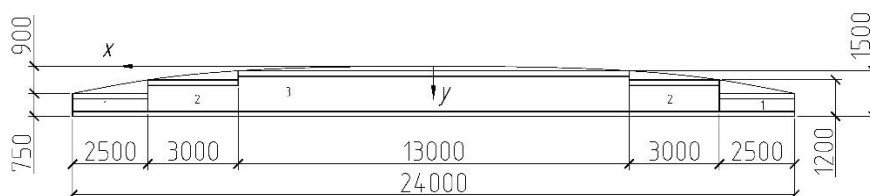


Рис. 1. Стропильная балка-плита коробчатого поперечного сечения

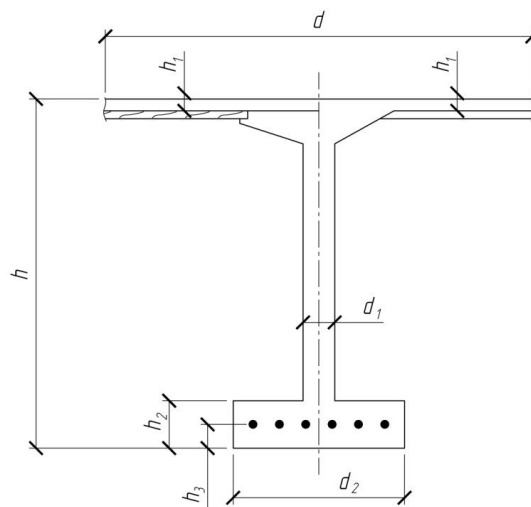


Рис. 2. Расчетное сечение стропильной балки

Расчетная нагрузка от снега и собственного веса элементов покрытия равна 0,026 МН/м. Требуемое сечение арматуры А500С по участкам 1, 2, 3: 10Ø18, 11Ø18, 12Ø18, коэффициенты армирования 0,0317; 0,0312; 0,0269 соответственно. Высота сжатой зоны по расчету на прочность 0,0178; 0,0200; 0,0223 м; толщина верхней полки 0,025 м.

Результаты исследования и их анализ

Расчет по прогибам производится с учетом нелинейности деформирования железобетона, исходя из следующих предпосылок:

- гипотеза плоских сечений;
- бетон сжатой зоны деформируется нелинейно в соответствии с рекомендованными нормами трехлинейной диаграммой;
- арматура растянутой зоны класса А500С деформируется в соответствии с рекомендованной нормами двухлинейной диаграммой;
- работа бетона растянутой зоны учитывается косвенно с помощью коэффициента ψ_s , повышающего модуль упругости арматуры E_s до величины E_s/ψ_s :

$$\psi_s = 1 - 0,8 M_{cr} / M, \quad (1)$$

где M_{cr} – момент образования трещин; M – момент от внешней нагрузки.

Момент образования трещин определяется с учетом неупругих деформаций бетона растянутой зоны на основе следующих предпосылок:

- гипотеза плоских сечений;
- в сжатой зоне бетон работает упруго при начальном модуле упругости E_b ;
- в растянутой зоне напряжения в бетоне возрастают упруго до величины расчетного сопротивления бетона растяжению для предельных состояний второй группы $R_{bt,ser}$, при дальнейшем деформировании остаются постоянными;
- деформация наиболее напряженного волокна растянутой зоны достигает предельного значения для кратковременной нагрузки
- $\epsilon_{bt,u} = 0,00015$;
- арматура деформируется упруго.

Поперечное сечение балки при моменте, равном M_{cr} , разделяется на упругую и пластическую

зоны с деформацией $\epsilon'_b = R_{bt,ser} / E_b$ по границе (рис. 3).

Скорость изменения деформаций по высоте пластической зоны y и всего сечения можно найти по формуле $u = (\epsilon_{bt,u} - \epsilon'_b) / y$, после чего нетрудно найти деформации и напряжения в любой точке сечения и величину момента M_{cr} .

Жесткость балки определяется по деформации ϵ_b наиболее напряженного волокна бетона сжатой зоны.

Требуется определить соответствующие этой деформации высоту сжатой зоны x и изгибающий момент – сумму моментов относительно нейтральной линии напряжений в бетоне сжатой зоны и усилий в арматуре растянутой и сжатой зон. Задача усложняется тем, что сжатая зона имеет тавровое сечение. Предлагается следующая методика:

- строится эпюра деформаций в пределах высоты сжатой зоны x ;
- строится эпюра напряжений в соответствии с эпюрой деформаций и принятой диаграммой деформирования бетона;
- равнодействующая напряжений в бетоне сжатой зоны N_b вычисляется по частям $N_{b,i}$, которые выделяются с учетом тавровой формы сечения так, чтобы для каждой из них было нетрудно определить расстояние Z_i до нейтральной линии поперечного сечения балки. На рис. 4 приводится пример для случая, когда $\epsilon_{b0} < \epsilon_b < \epsilon_{b2}$ и $r_x > h_1$.

$$p = \frac{\epsilon_{b1}}{\epsilon_b}; q = \frac{\epsilon_{b0} - \epsilon_{b1}}{\epsilon_b}; r = \frac{\epsilon_b - \epsilon_{b0}}{\epsilon_b} \quad (2)$$

$$N_{b,1} = \frac{1}{2} 0,6 R_b q x d_1; z_1 = \frac{2}{3} p x; \quad (3)$$

$$N_{b,2} = 0,6 R_b q x d_1; z_2 = p x + \frac{q x}{2}; \quad (4)$$

$$N_{b,3} = \frac{1}{2} 0,4 R_b q x d_1; z_3 = p x + \frac{2}{3} q x; \quad (5)$$

$$N_{b,4} = R_b r x d; z_4 = x - \frac{r x}{2}; \quad (6)$$

$$N_{b,5} = -R_b (r x - h_1); z_5 = x - \frac{r x + h_1}{2}. \quad (7)$$

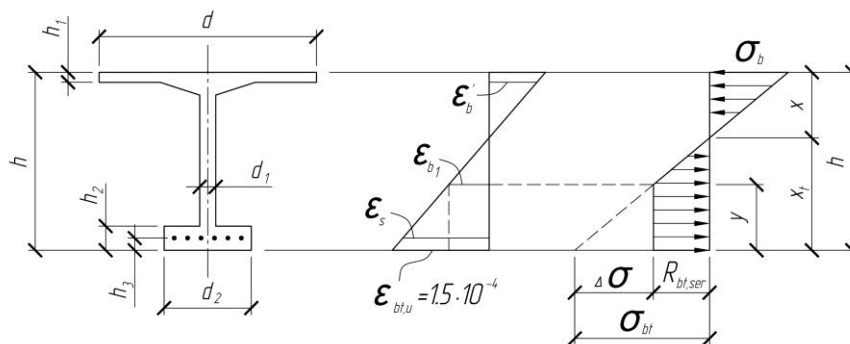


Рис. 3. К определению момента образования трещин

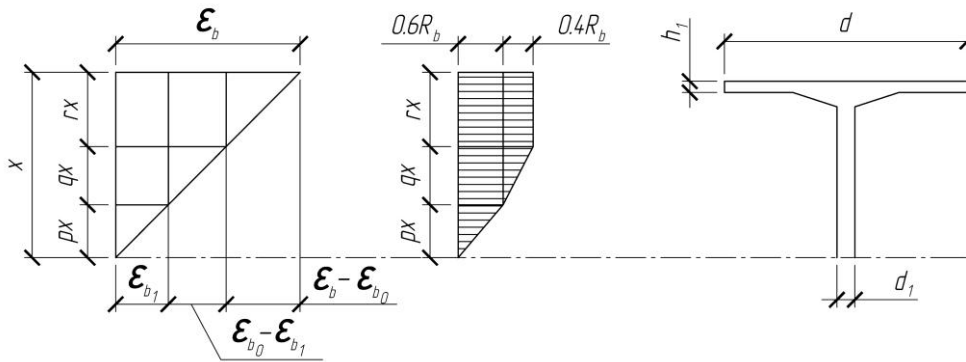


Рис. 4. К определению равнодействующей и момента относительно нейтральной линии напряжений в бетоне сжатой зоны при деформации наиболее напряженного волокна $\epsilon_b > \epsilon_{b0}$

Усилия в арматуре записываются в виде:
– для растянутой зоны

$$N_s = E_s A_s \epsilon_s = \frac{E_s A_s}{\psi_s} \epsilon_b \frac{h_0 - x}{x}; \quad (8)$$

– для сжатой зоны

$$N'_s = E_s A'_s \epsilon'_s = E_s A'_s \epsilon_b \frac{x - a'}{x}. \quad (9)$$

Составляется уравнение равновесия $N_b + N_s - N'_s = 0$, которое оказывается уравнением вида $ax^2 + bx + c = 0$.

Из решения уравнения определяется высота сжатой зоны x , после чего определяется изгибающий момент M , кривизна изогнутой оси балки $k = \epsilon_b / x$ и жесткость балки $g = M / k$.

Расчет балки-плиты начинается с того, что для каждого из трех ее участков последовательно задаются деформации крайнего волокна сжатой зоны от $\epsilon_b = 0,00001$ до $\epsilon_b = 0,00350$ с шагом $0,00001$ и вычисляются и заносятся в таблицу соответствующие значения изгибающего момента, деформации ϵ_b , кривизны изогнутой оси и жесткости балки.

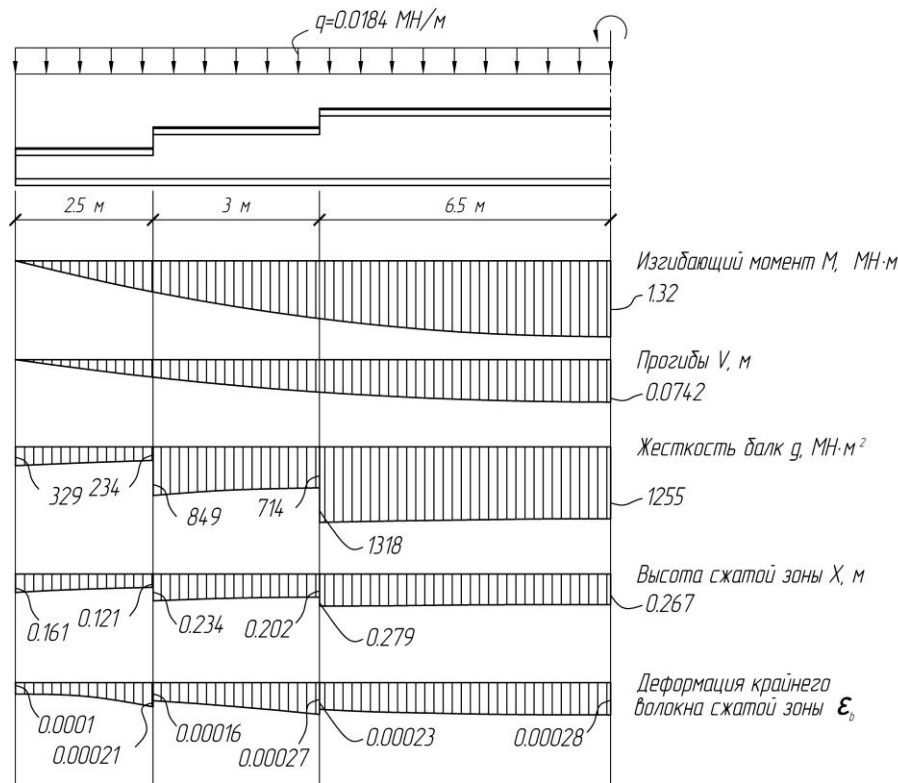


Рис. 5. Параметры напряженного состояния стропильной балки пролетом 24 м

Выводы

Далее применяется метод упругих решений в сочетании с методом конечных разностей. В каждом упругом решении балка разделяется по длине на малые части, по границам которых наносятся точки $j = 1, 2, 3, \dots, n$. Прогобы балки в этих точках принимаются за основные неизвестные; они определяются из решения системы уравнений равновесия малых частей, выделенных в окрестности каждой точки j . По прогибам определяются кривизны изогнутой оси балки, а по ним – строчки в таблице, откуда берутся жесткости для следующего упругого решения, причем индивидуально для каждой точки $j = 1, 2, 3, \dots, n$. Решение показывает устойчивую сходимость.

На рис. 5 приводятся эпюры изгибающих моментов, вертикальных перемещений, жесткостей балки, высоты сжатой зоны и деформации наиболее напряженного волокна сжатой зоны.

Нагрузка к расчету по второй группе предельных состояний составила 0,0184 МН/м.

Полученные результаты достаточно достоверно отражают работу конструкции в целом, поскольку учитывают действительную работу материала вплоть до установления возможного места разрушения конструкции.

Литература

1. Покрытие здания на сборно-монолитных стропильных конструкциях / С.И. Рощина, И.И. Шишов, Е.Н. Капцова, Х. Эззи // *Бетон и железобетон*. – 2013. – № 3. – С. 30–31.
2. Шишов, И.И. Покрытие производственного здания на спаренных колоннах / И.И. Шишов, А.О. Дрогина, Т.В. Ковалишина // *Бетон и железобетон*. – 2013. – № 5. – С. 14–15.
3. Стropильные конструкции из линейных и плоских элементов и их совместная работа с плитами покрытий / И.И. Шишов, С.И. Рощина, Х. Эззи, М.А. Рязанов // *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. труды III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. РАН, Мин-во строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-во образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ «Строительство», Ассоциация «Железобетон».* (Москва, 12–16 мая 2014 г.). – М.: Изд-во МГСУ, 2014. – Т. 1. – С. 407–414.
4. Пат. 147222 RU, МПК E04B 7/20. Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания / С.И. Рощина, И.И. Шишов, Х. Эззи, М.А. Рязанов; патентообладатель ВлГУ. – № 2014111352/03; заявл. 25.03.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл № 30.
5. Рамные стропильные конструкции и плиты покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 метров / И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.А. Рязанов, Х. Эззи // *Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всерос. (II Междунар.) конф. НАСКР-2014. ЧГУ. (Чебоксары, 20–21 ноября 2014 г.).* – Чебоксары: Изд-во Чуваши. ун-та, 2014. – С. 251–256.
6. Несущие конструкции покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 или 18 метров / И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.А. Рязанов, Х. Эззи // *Бетон и железобетон*. – 2015. – № 3. – С. 13–16.
7. Пат. 153641 RU, МПК E04B 7/20. Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания на спаренных колоннах / С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов, Х. Эззи; патентообладатель ВлГУ. – № 2014149245/03; заявл. 05.12.2014; опубл. 27.07.2015. Бюл № 21.
8. Шишов, И.И. Покрытие промышленного здания с консольно-балочной подстропильной системой / И.И. Шишов, Е.А. Смирнов, М.А. Рязанов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура».* – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 49–54.
9. Внешнее армирование консольно-балочной подстропильной системы / М.А. Рязанов, С.И. Рощина, И.И. Шишов и др. // *БСТ – Бюллетень строительной техники*. – 2018. – № 2. – С. 62–64.
10. Экспериментальные исследования работы сборно-монолитного покрытия производственного здания / М.А. Рязанов, И.И. Шишов, С.И. Рощина и др. // *БСТ – Бюллетень строительной техники*. – 2016. – № 12. – С. 57–61.
11. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования / М.А. Рязанов, И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.В. Лукин // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2016. – № 12. – С. 58–64.
12. Пат. 186152 RU, МПК E04B 7/00. Сборно-монолитное покрытие одноэтажного производственного здания при пролетах 18, 24, 30 м и увеличенном шаге поперечных осей / С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов, Н.П. Козлова, П.И. Малафеева; патентообладатель ВлГУ. – № 2018134014; заявл. 26.09.2018; опубл. 11.01.2019. Бюл № 2.
13. Lisvatnikov, M.S., Shishov, I.I., Sergeev, M.S., Hisham, E. Precast monolithic coating of an industrial building based on variable-height beam-slabs // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – 896(1). – 012064. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012064.
14. Обернихин, Д.В. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений / Д.В. Обернихин, А.И. Никулин // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2017. – № 4. – С. 56–59.
15. Шматков, С.Б. Расчет железобетонных дымовых труб на основе диафрагм деформирования бетона и арматуры / С.Б. Шматков, В.В. Штурмин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура».* – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 36–39.
16. Обернихин, Д.В. Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры / Д.В. Обернихин, Ю.А. Никулина // *Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. тр. по итогам*

международной науч.-практ. конф. Вып. 2. – Самара: ИЦРОН, 2015. – С. 122–124.

17. Радайкин, О.В. К определению момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов с учетом пластических деформаций бетона растянутой зоны / О.В. Радайкин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 3. – С. 30–38.

18. Алмазов, В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евро нормам / В.О. Алмазов. – М.: ЛитРес, 2016. – 217 с.

19. Тамразян, А.Г. Особенности расчета изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения согласно EC2 / А.Г. Тамразян // Бетон и железобетон. – 2012. – № 1. – С. 19–23.

20. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона / М.В. Попова, М.С. Лисятников, А.Н. Сергеева, А.К. Модин // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2017. – № 12 (1000). – С. 44–45.

Шишов Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции», Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), shishov@shishov777.elcom.ru

Лисятников Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции», Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), mlisyatnikov@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), rsi3@mail.ru

Лукина Анастасия Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции», Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир), pismo.33@yandex.ru

Поступила в редакцию 15 октября 2020 г.

DOI: 10.14529/build210103

COVERING A SINGLE-STOREY INDUSTRIAL BUILDING WITH WIDE BOX-SHAPED BEAMS OF STEPWISE-VARYING HEIGHT

I.I. Shishov, shishov@shishov777.elcom.ru

M.S. Lisyatnikov, mlisyatnikov@mail.ru

S.I. Roschina, rsi3@yandex.ru

A.V. Lukina, pismo.33@yandex.ru

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russian Federation

The article proposes a precast monolithic covering of a one-storey industrial building, consisting of 3 m wide box-shaped roof beams of stepwise-variable cross-section limited by a third-degree parabola. The beams are supported on the girder supporting roof trusses, installed in a row and connected with a monolithic insert that complements the plate of the upper chord of the beam to a single roof slab. Roof beams perform both load-bearing and enclosing functions. The height of the covering in the middle of the span is 1.5 m instead of 3.75 m in the typical solution –when laying ribbed slabs on roof trusses. The covering is distinguished by the simplicity of installation: the number of lifts and the volume of field welding are minimal; no temporary fastenings are required; erection works and the installation of monolithic inserts can be combined; and covering configuration simplifies the construction of networks of sewerage. The results are given for buildings with spans up to 24 m and 3 m wide box-shaped roof beams of stepwise-variable cross-section.

Keywords: reinforced concrete rafter beam, industrial building, strength calculation, deflection calculation, stress in reinforcement, cracking.

References

1. Roshchina S.I., Shishov I.I., Kaptsova E.N., Ezzi Kh. [Building Covering on Prefabricated Monolithic Truss Structures]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2013, no. 3, pp. 30–31. (in Russ.)
2. Shishov I.I., Drogina A.O., Kovalishina T.V. [Coating a Production Building on Twin Columns]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2013, no. 5, pp. 14–15. (in Russ.)
3. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ezzi Kh., Ryazanov M.A. [Roof Structures from Linear and Flat Elements and their Joint Work with Slabs]. *Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushcheye: nauch. trudy III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu. RAN, Min-o stroit. i zhilishch. kommunal. khoz. RF, RIA, Min-vo obraz. i nauki RF, MGSU, NITs “Stroitel’stvo”, Assotsiatsiya “Zhelezobeton”*. (Moskva, 12–16 maya 2014 g.) [Concrete and Reinforced Concrete – a Look into the Future: Scientific. Proceedings of the III All-Russia. (II International) Conf. for Concrete and Reinforced Concrete. RAS, Min-o is Building. and Dwellings. Communal Households RF, RIA, Min-o Image. and Science of the Russian Federation, MGSU, Research Center “Construction”, Association “Reinforced Concrete”]. Moscow, Izd-vo MGSU Publ., 2014, vol. 1, pp. 407–414. (in Russ.)
4. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ezzi Kh., Ryazanov M.A. *Zhelezobetonnoye pokrytiye odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya* [Reinforced Concrete Pavement of a One-Storey Industrial Building]. Patent RF, no. 147222, 2014.
5. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ryazanov M.A., Ezzi Kh. [Frame Roof Structures and Roof Slabs of an Industrial Building with a Cross-Frame Pitch of 15 Meters]. *Novoye v arkhitekture, proyektirovaniy stroitel’nykh konstruksiy i rekonstruksii: materialy VIII Vseros. (II Mezhdunar.) konf. NASKR-2014. ChGU. (Cheboksary, 20 – 21 noyabrya 2014 g.)* [New in Architecture, Design of Building Structures and Reconstruction: Materials of the VIII All-Russia (II International) Conf.]. Cheboksary, Izd-vo Chuvash. Un-ta Publ., 2014, pp. 251–256. (in Russ.)
6. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ryazanov M.A., Ezzi Kh. [Bearing Structures of the Coating of an Industrial Building with a Cross-Frame Pitch of 15 or 18 Meters]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2015, no. 3, pp. 13–16. (in Russ.)
7. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ryazanov M.A., Ezzi Kh. *Zhelezobetonnoye pokrytiye odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya na sparennykh kolonnakh* [Reinforced Concrete Pavement of a One-Story Production Building on Paired Columns]. Patent RF, no. 153641, 2015.
8. Shishov I.I., Smirnov E.A., Ryazanov M.A. [Coating of an Industrial Building with a Cantilever-Beam Rafter System]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 49–54. (in Russ.)
9. Ryazanov M.A., Roshchina S.I., Shishov I.I., Lukin M.V., Lisyatnikov M.S. [External Reinforcement of the Cantilever-Beam Underfloor System]. *BST – Byulleten’ stroitel’noy tekhniki* [Bulletin of Construction Equipment], 2018, no. 2, pp. 62–64. (in Russ.)
10. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Smirnov E.A., Sergeyev M.S. [Experimental Studies of the Work of a Precast-Monolithic Coating of an Industrial Building]. *BST – Byulleten’ stroitel’noy tekhniki* [Bulletin of Construction Equipment], 2016, no. 12, pp. 57–61. (in Russ.)
11. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Lukin M.V. [Calculation of Bending Elements Taking into Account the Physical Nonlinearity of Deformation]. *The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2016, no. 12, pp. 58 – 64. (in Russ.)
12. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ryazanov M.A., Kozlova N.P., Malafeyeva P.I. *Sborno-monolitnoye pokrytiye odnoetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya pri proletakh 18, 24, 30 m i uvelichennom shage poperechnykh osey* [Precast Monolithic Covering of a One-Story Industrial Building with Spans of 18, 24, 30 m and an increased Pitch of the Transverse Axes]. Patent RF, no. 2018134014, 2018.
13. Lisyatnikov M.S., Shishov I.I., Sergeev M.S., Hisham E. [Precast Monolithic Coating of an Industrial Building Based on Variable-Height Beam-Slabs]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896(1), 012064. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012064.
14. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. [Experimental Studies of the Deformability of Bending Reinforced Concrete Elements of Various Cross-Sections]. *The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2017, no. 4, pp. 56–59. (in Russ.)
15. Shmatkov S.B., Shturmin V.V. [Calculation of Reinforced Concrete Chimneys Based on Deformation Diaphragms of Concrete and Reinforcement]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 36–39. (in Russ.)
16. Obernikhin D.V., Nikulina Yu.A. [Strength Calculation of Bending Reinforced Concrete Elements of Trapezoidal Section Based on the Use of Nonlinear Deformation Diagrams of Concrete and Reinforcement]. *Aktual’nyye voprosy nauki i tekhniki: Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual Sciences and Technologies: Collection of Scientific Papers on the Results of the International Scientific and Practical Conference]. Samara, ITsRON Publ., 2015, iss. 2, pp. 122–124. (in Russ.)

17. Radaykin O.V. [Determination of the Moment of Cracking of Bent Reinforced Concrete Elements, Taking into Account Plastic Deformations of concrete in a Tensioned Zone]. *The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 3, pp. 30–38. (in Russ.)

18. Almazov V.O. *Proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruktsey po evronormam* [Design of Reinforced Concrete Structures According to Euronorms]. Moscow, LitRes Publ., 2016. 217 p.

19. Tamrazyan A.G. [Features of Calculation of Bending Reinforced Concrete Elements of Rectangular Cross-Section According to EC2]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2012, no. 1, pp. 19–23.

20. Popova M.V., Lisyatnikov M.S., Sergeyeva A.N., Modin A.K. [Calculation of the Strength of Normal Sections of Bending Elements Taking into Account the Complete Diagram of Concrete Deformation]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [Bulletin of Construction Equipment], 2017, no. 12 (1000), pp. 44–45. (in Russ.)

Received 15 October 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Покрытие одноэтажного промышленного здания широкими балками коробчатого поперечного сечения ступенчато переменной высоты / И.И. Шишов, М.С. Лисятников, С.И. Рощина, А.В. Лукина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 22–29. DOI: 10.14529/build210103

FOR CITATION

Shishov I.I., Lisyatnikov M.S., Roschina S.I., Lukina A.V. Covering a Single-storey Industrial Building with Wide Box-shaped Beams of Stepwise-varying Height. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 1, pp. 22–29. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210103