

*Ганджунцев М.И., канд. техн. наук, доц.
Московский государственный строительный университет
Кондратенко В.Е., канд. техн. наук, доц.
Московский институт стали и сплавов*

РАСЧЕТ КРАЙНИХ СТОЕК И ОПТИМИЗАЦИЯ ШАГА ИХ РАССТАНОВКИ ДЛЯ ОПАЛУБКИ МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

orp@mgsu.ru

В настоящее время в процессе проектирования различных общественных и жилых зданий и сооружений наметилась стойкая тенденция к использованию монолитного железобетона для перекрытия пролетов, имеющих в плане значительные размеры, с помощью конструкций часто со сложной геометрической структурой. В статье предпринята попытка создать методику оценки оптимальности применяемых конструкций лесов при изготовлении монолитных перекрытий, используя для этого классические подходы сопротивления материалов и строительной механики, с целью оптимизации расхода применяемых материалов, выявления реальных «шагов» стоек по горизонтали и вертикали при соблюдении требований к таким конструкциям по прочности и устойчивости. Рассмотрены случаи нестандартной расстановки крайних стоек лесов опалубки монолитного перекрытия.

***Ключевые слова.** Средства подмащивания, монолитная опалубка, шаг лесов по горизонтали и вертикали, удельная нагрузка на стойку, допустимая нагрузка на квадратный метр, толщина перекрытия, крайние стойки, внецентренное нагружение.*

Введение. В настоящее время в процессе проектирования различных общественных и жилых зданий и сооружений наметилась очевидная тенденция к использованию монолитного железобетона для перекрытия пролетов, имеющих в плане значительные размеры, с помощью конструкций, имеющих сложную геометрическую форму.

Выбор средств подмащивания, т.е. специальных лесов, поддерживающих монолитные конструкции на стадии возведения (в большинстве своем иностранных производителей) производится по различного рода фирменным каталогам и справочным материалам. При этом во многих случаях, по нашему мнению, отмечается перерасход дорогостоящих импортных средств для изготовления лесов под монолитную опалубку вышеуказанных конструкций перекрытий, связанный с неоптимальными шагами стоек лесов по горизонтали и их развязки в вертикальном направлении. Кроме того, отмечается использование в качестве стоек труб с завышенными относительно оптимальных величин характеристиками.

Ниже нами предпринята попытка создать методику расчета конструкций лесов, применяемых при изготовлении монолитных перекрытий, используя для этого классические подходы сопротивления материалов и строительной механики, с целью оптимизации расхода применяемых материалов, выявления реальных «шагов» стоек по горизонтали и вертикали при соблюдении требований к таким конструкциям по проч-

ности и устойчивости, учитывая специфику расстановки крайних стоек лесов опалубки.

1. Постановка задачи.

Достаточно часто при расстановке стоек опалубки монолитного перекрытия возникают нестандартные варианты. Один из таких случаев приведен на рис. 1.

Рассматривая нагрузку на крайнюю стойку (рис. 1 и 2) следует отметить, что при «вылете» несущей балки на $l_0 \neq 0,5L$ имеет место ее внецентренное нагружение.

При этом первый пролет l_1 и последующие должны иметь длины меньше величины L , допускаемой при стандартной расстановке стоек.

В некоторых источниках рекомендуют уменьшать расстояния между крайними стойками в два раза, по сравнению с шагом промежуточных.

2. Решение задачи.

Рассмотрим схему расстановки стоек при различном вылете крайней балки l_0 , имея в виду, что несущая способность промежуточных стоек (нагруженных центрально) S и допустимый шаг их расстановки L известны.

Обозначим вылет балки от крайней стойки через l_0 , l_1 – длина первого пролета,

l_2 – второго и т.д., L – шаг промежуточных стоек. Тогда, согласно схеме сбора нагрузок (рис. 1), на первую крайнюю стойку действуют усилия N_0 и N_1 (рис. 2):

$$N_0 = S \cdot l_0 \cdot L \quad N_1 = S \cdot \frac{l_1}{2} \cdot L$$

Сжимающее усилие в крайней стойке:

$$N = N_0 + N_1 = (l_0 + 0,5 \cdot l_1) \cdot L \cdot S$$

При этом сжимающие напряжения в ней:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} = (l_0 + 0,5 \cdot l_1) \cdot L \cdot \frac{S}{A}.$$

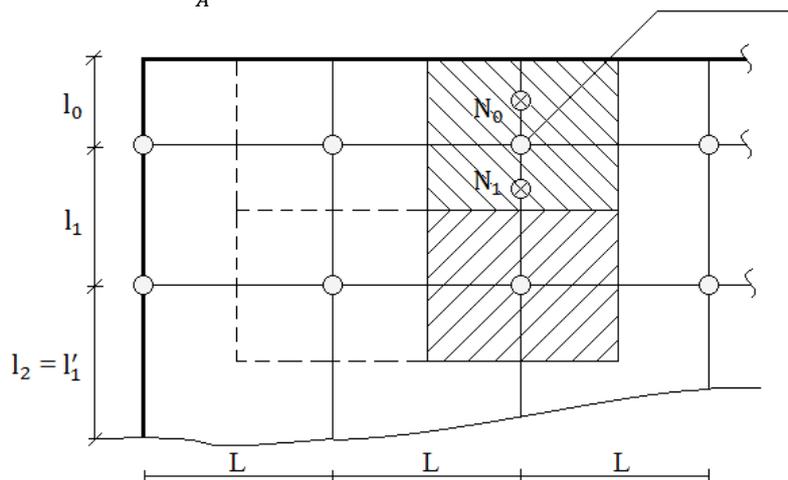


Рис. 1

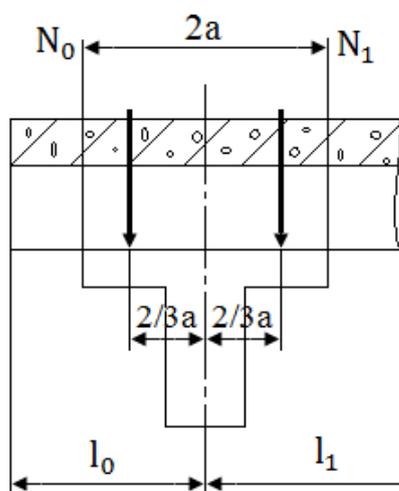


Рис. 2

Принимая закон распределения давления балки на унвилку линейным (в запас прочности) (рис. 3), запишем выражение для изгибающего момента, действующего на стойку

$$M_{и} = (N_1 - N_0) \cdot \frac{2}{3} \cdot a = (0,5 \cdot l_1 - l_0) \cdot L \cdot S \cdot \frac{2}{3} \cdot a,$$

а также изгибных напряжений

$$\sigma_{и} = \frac{M_{и} \cdot D}{J \cdot 2} = \frac{(0,5 \cdot l_1 - l_0)}{J} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot a \cdot L \cdot S,$$

или

$$\sigma_{и} = (0,5 \cdot l_1 - l_0) \cdot \frac{D a}{i^2 \cdot 3} \cdot \frac{S L}{A}$$

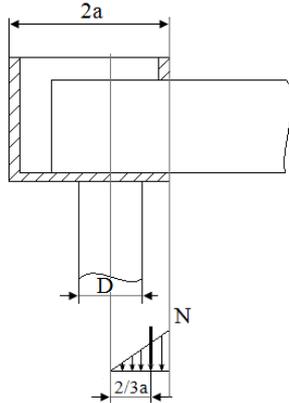


Рис. 3

Приравнявая величины максимальных напряжений в крайней стойке $\sigma = \sigma_c + \sigma_{и}$ допусковым напряжениям $[\sigma] = \frac{S \cdot L^2}{A}$ получим выражение:

$$\frac{S \cdot L^2}{A} = \frac{S \cdot L}{A} [(l_0 + 0,5 \cdot l_1) + \omega(0,5 \cdot l_1 - l_0)]$$

или

$$L = l_0(1 - \omega) + 0,5 \cdot l_1(1 + \omega), \quad (1)$$

где

$$\omega = \frac{D a}{i^2 \cdot 3} \quad (2)$$

Для стойки диаметром $D = 59$ мм

$$\omega = \frac{5,9 \cdot 8,5}{3 \cdot 4} = 4,18$$

Выражение (1) связывает вылет балки l_0 и длину первого пролета l_1 с величиной допускаемого шага промежуточных стоек L . При этом величина напряжения в крайней стойке от ее внецентренного нагружения не превосходит величины допускаемых напряжений.

Так, при $l_0 = \frac{L}{2}$; $L = \frac{L}{2}(1 - 4,18) + 0,5 l_1(1 + 4,18)$, откуда $l_1 = L$.

При $l_0 = \frac{L}{4}$

$$L = -\frac{L}{4} \cdot 3,18 + 0,5 l_1 \cdot 5,18 \text{ и } l_1 = 0,7L, \text{ т.е.}$$

для выравнивания нагрузок первый пролет должен быть $0,7L$.

Приняв в выражении (1) величину l'_0 равной половине длины первого пролета $l'_0 = \frac{0,7L}{2}$ можно найти длину второго пролета l'_1 , при которой произойдет выравнивание нагрузки на остальные стойки:

$$L = \frac{0,7L}{2}(1 - 4,18) + 0,5 l'_1(1 + 4,18),$$

$$l'_1 = l_2 = 0,81 \cdot L.$$

Производя аналогичные вычисления далее при $l''_0 = \frac{l'_0}{2} = \frac{0,81 \cdot L}{2}$, для третьего пролета получим его длину, равную $l''_1 = l_3 = 0,877 \cdot L$.

При $l_0''' = \frac{l_1''}{2} = \frac{0,877 \cdot L}{2}$, $l_1''' = l_4 = 0,95 \cdot L$.

Таким образом, при последовательном увеличении расстояния между стойками l_i , происходит выравнивание нагрузки на стойки уже практически к четвертому пролету.

Отметим, что при отсутствии вылета балки, т.е. $l_0 = 0$ из выражения (1) следует, что $L = 0,5 \cdot l_1 \cdot (1 + 4,18)$ и длина первого пролета $l_1 = 0,385 \cdot L$.

Принимая далее в выражении (1) $l_0' = \frac{l_1}{2} = 0,1925 \cdot L$ получим величину второго пролета $l_1' =$

$l_2 = 0,62 \cdot L$. Производя аналогичные вычисления, получим $l_3 = 0,766 \cdot L$, $l_4 = 0,857 \cdot L$, $l_5 = 0,91 \cdot L$, $l_6 = 0,95 \cdot L$, $l_7 = 0,97 \cdot L$, $l_8 = 0,98 \cdot L$.

Таким образом, выравнивание нагрузки на промежуточные стойки при отсутствии вылета несущей балки происходит к восьмому пролету.

В таблице 1 представлены длины первых восьми пролетов сетки стоек в зависимости от вылета несущей балки, при которых напряжения в стойках равны допускаемым (для стоек $D = 59$ мм).

Таблица 1

Величины пролетов в зависимости от вылета балки для диаметра 59 мм

$\frac{l_0}{L}$	k - коэффициент уменьшения длины пролета $l_i = kL$							
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0,877	0,924	0,953	0,971	0,982	0,99	1	1
0,35	0,815	0,883	0,93	0,955	0,973	0,983	0,99	1
0,25	0,70	0,81	0,883	0,926	0,955	0,972	0,983	0,99
0,15	0,570	0,735	0,837	0,90	0,938	0,962	0,977	0,986
0	0,385	0,620	0,766	0,857	0,910	0,930	0,970	0,980

Для стоек $D = 48$ мм коэффициент ω в выражении (1) равен:

$$\omega = \frac{Da}{i^2 \cdot 3} = \frac{4,8 \cdot 8,5}{3 \cdot 2,56} = 5,31.$$

Выражение (1) имеет вид:

$$L = -l_0 \cdot 4,31 + 0,5 \cdot l_1 \cdot 6,31$$

Значения первых пролетов в зависимости от вылета несущей балки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Величины пролетов в зависимости от вылета балки для диаметра 48 мм

$\frac{l_0}{L}$	k - коэффициент уменьшения длины пролета $l_i = kL$							
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0,863	0,906	0,936	0,956	0,970	0,980	0,99	1
0,35	0,795	0,86	0,904	0,935	0,955	0,970	0,979	0,986
0,25	0,658	0,767	0,840	0,891	0,926	0,950	0,965	0,976
0,15	0,520	0,673	0,777	0,848	0,896	0,929	0,951	0,967
0	0,317	0,533	0,681	0,782	0,851	0,898	0,930	0,952

Выводы

1. Несущая способность промежуточной стойки опалубки монолитного перекрытия определяется (в зависимости от диаметра трубы) шагом расстановки горизонтальных связей h .

2. Допустимый шаг расстановки промежуточных стоек L определяется удельной нагрузкой на стойку S , пропорциональной L^2 (и, соответственно, толщиной перекрытия Δ).

3. Несущая способность крайних стоек снижается за счет их внецентренного сжатия. Выравнивание несущей способности стоек обеспечивается уменьшением шага их расстановки (см. таблицы).

4. Оптимальный вылет несущей балки l_0 равен половине шага расстановки промежуточных стоек L . При этом все стойки подвергаются центральному сжатию и работают в равных условиях.

С точки зрения прочности конструкции лесов такая схема расстановки стоек определяется несущей способностью балки. В балке с вылетом $l_0 = 0,5 \cdot L$ максимальный изгибающий момент равен моменту балки без вылета ($l_0 = 0$), т.е. они равнопрочны ($M_{из} = q \cdot \frac{L^2}{8}$).

5. При отсутствии технической возможности сделать вылет несущей балки за сетку стоек на $l_0 = 0,5 \cdot L$ нагрузки на крайние стойки будут неравномерны.

Однако вполне очевидно, что на практике будет трудно осуществить расстановку стоек в соответствии с данными таблиц 1 и 2.

При этом необходимо неукоснительно соблюдать рекомендации таблиц 1 и 2 для первых двух-трех пролетов. При дальнейшей расстановке стоек с шагом L , допускаемую нагрузку на стойки и, соответственно, толщину перекрытия Δ следует снижать на величину $(\frac{l_i}{L})^2$, где l_i – первый пролет, длина которого принята L по сравнению с таблицами 1 и 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Изд. 12-е, стер. С-П, М. Лань, 2010.
2. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М.: Изд. МГГУ, 2000.
3. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. М.: Стройиздат, 1988.
4. ГОСТ 24258-88. Средства подмащивания. Общие технические условия.