

## ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЛИСТОВ, ИЗОГНУТЫХ ПО СИНУСОИДЕ, И МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА

И. В. Харламов, Н. В. Капитонов

Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье представлена методика расчета перекрытия из стальных профилированных листов изогнутых по синусоиде и монолитного пенобетона. Выполнено моделирование изогнутых по синусоиде существующих марок профилированного листа с помощью программного комплекса Autodesk AutoCAD. Расчётно-графическим путем получены основные геометрические характеристики сечений плит перекрытия. Выведена зависимость между несущей способностью профилированного листа и величиной амплитуды синусоиды.*

**Ключевые слова:** профилированный лист, несущая способность, синусоида, изгибная жесткость, пенобетон, шумоизоляция многослойных конструкций.

На фоне быстро набирающих популярность конструкций из ЛСТК, не меньше востребован металлический профилированный лист. Он широко применяется как кровельный материал. Также в последнее время всё чаще можно увидеть монолитное перекрытие по профлисту. Данная технология широко применяется в совокупности с тяжелыми бетонами, где профилированный лист играет роль несъёмной опалубки.

Попытки использовать оцинкованный профилированный лист как несущий элемент перекрытия существуют. Вместо тяжелого армированного бетона используется пенобетон, который обеспечивает необходимый уровень звукоизоляции и должную огнестойкость конструкции. Для того чтобы перекрыть 6-ти метровый пролет, без дополнительных опор, требуется профилированный лист марки не ниже Н158-750. Стоимость такого листа высока, и изготавливают его только под заказ. Установка промежуточных балок даст возможность применять профилированный лист меньшей марки. Например, профиль марки Н60-845-1,0, с двух пролётной расчетной схемой, значительно дешевле и изготавливается практически на всех заводах металлических изделий. Однако, промежуточные балки увеличивают вес перекрытия и его стоимость.

Перед нами стояла задача: законструировать и рассчитать монолитную плиту перекрытия из пенобетона с металлическим профилированным листом, в качестве несущего элемента, для 6-ти метрового пролета, без дополнительных опор. Для решения поставленной задачи профилированному настилу, в поперечном направлении плиты перекрытия,

придали форму синусоиды (рисунок 1). Предлагаемое решение должно увеличить несущую способность и возможно снизить себестоимость перекрытия.

### Методика расчета

1. Выбираем марку профилированного листа. Для листов, имеющих 4 гофры, шаг гофр профилированного листа  $S$  приравняем к  $1/4$  длины синусоиды  $L$  (если лист состоит из 5 гофр, то  $L=1,25 S$ ). Чтобы определить высоту синусоиды ( $h$ ) и четверть длины проекции ее на ось  $X$  ( $x$ ) в мм, сначала определим  $L$  синусоиды в у.е. (под условной единицей подразумевается величина равная значению  $\sin(\pi/2)$ ). Для этого мы вычисляем интеграл типа

$$S = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  равны 0 и  $\pi/2$  соответственно.

Подставляем нашу функцию  $y = \sin(x)$  в формулу (1) и проводим далее несколько преобразований. Получаем полный нормальный эллиптический интеграл Лежандра второго рода с некоторым коэффициентом  $c$

$$L = c \cdot \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2 \varphi} d\varphi, \quad (2)$$

где  $k^2 = 1/\sqrt{2}$ ,  $c = 1/k^2$

Этот интеграл является стандартным и раскладывается в степенной ряд

$$L = c \cdot \frac{\pi}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \frac{(2n)!}{2^{2n} n!^2} \right]^2 \frac{k^{2n}}{1 - 2n}, \quad (3)$$

ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЛИСТОВ, ИЗОГНУТЫХ ПО СИНУСОИДЕ, И МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА

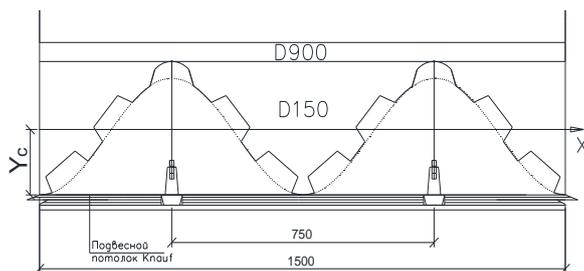


Рисунок 1 – Конструкция перекрытия с несущим профилированным листом

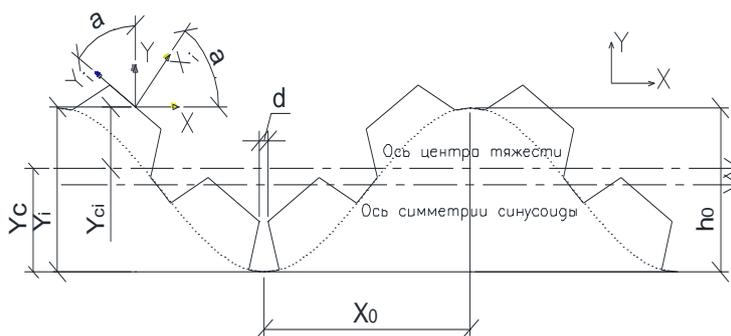


Рисунок 2 – Профилированный лист, изогнутый по графику  $y=\sin(x)$

который эквивалентен выражению [2]

$$L = c \cdot \frac{\pi}{2} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 k^4 - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 k^6 - \dots \\ \dots - \left[ \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \right]^2 \frac{k^{2n}}{2n-1} - \dots \end{array} \right\}, \quad (4)$$

с помощью которого с заданной точностью мы находим величину  $L$  в у.е.

2. Известно, что длина проекции синусоиды на ось  $X$  в у.е. равна  $2\pi R$ , где  $R$  – высота синусоиды ( $h$ ). Следовательно,  $x = \pi/2 \approx 1,57$ , а  $h = 1$ . Зная все величины в у.е., мы определяем  $h$  и  $x$  в мм с помощью простых пропорций

$$h_0 = h(\text{у.е.}) \cdot \frac{S \text{ или } 1,23S}{L}, \text{ мм}, \quad (5)$$

$$X_0 = x(\text{у.е.}) \cdot \frac{S \text{ или } 1,23S}{L}, \text{ мм}, \quad (6)$$

3. После определения всех размеров, в программном комплексе AutoCAD строится получившийся график функции  $y = \sin(x)$ .

4. По построенной синусоиде «укладываем сверху» выбранную марку профилированного листа (рисунок 2). Далее в нижнем экстремуме графика  $y = \sin(x)$  замеряется расстояние между смежными гофрами  $d$ . Если  $d > d_0$ , значит, мы можем увеличивать высоту

синусоиды  $h$ , в противном случае уменьшаем ее, при этом сохраняя длину  $L$  в мм.  $d_0$  принимается в зависимости от технологии изготовления перекрытия (для технологии монолитного пенобетона  $d_0$  принята равной 5 мм).

5. Для удобства расчёта и последующего монтажа профилированного листа, разбиваем 6-ти метровый шаг перекрытия на целое количество синусоид.

6. Задаемся возможным значением  $X$  из таблицы 1. Зная, длину четверти волны синусоиды ( $L = S$  или  $1,25S = \text{const}$ ) и значение проекции на ось  $X$  в мм, находим высоту синусоиды  $h$  в мм. Для этого:

6.1. Определим высоту синусоиды, для значения, выбранного из таблицы 1, которая соответствует графику функции  $y = \sin(x)$ . Составляя простые пропорции не трудно найти  $h_1$  в мм.

6.2. Находим отношение  $L_2 = \frac{L}{h_1}$ . Это длина четверти волны синусоиды, соответствующая графику функции  $y_2 = n \cdot \sin(x)$  в у.е., где  $n$  – это коэффициент перехода от значения  $h_1$  к искомому  $h$ ,  $n = \frac{h}{h_1}$ .

6.3. Воспользуемся формулой 4, подставим в нее получившееся значение  $L_2$ . Проведя некоторые упрощения, получим следующее уравнение, решение которого приведет к нахождению коэффициента  $n$

Таблица 1 – Проекция синусоиды на ось X

Кол-во синусоид (листов)	X (мм)	Примечание
6	250,0	Только для листов с рабочей шириной 1000мм (проф. лист укладывается без изгиба)
7	214,3	Для всех листов с рабочей шириной больше 845 мм.
8	187,5	Для всех листов с рабочей шириной больше 750 мм. Проф. лист с рабочей шириной 750 мм укладывается без изгиба.
9	166,7	Для всех марок листов геометрические размеры которых позволяют изогнуть профиль по заданному графику.
10	150,0	
11	136,4	
12	125,0	

Таблица 2 – Несущая способность перекрытий

Кол-во цельных синусоид в 6 м пролета	Форма кривизны профилированного листа (функция)	Высота перекрытия, см	Значения допустимых расчетных нагрузок, кг/м <sup>2</sup>	Собственный вес перекрытия, кг/м <sup>2</sup>	Полезная нагрузка, г/м <sup>2</sup>	R <sub>w</sub> , ДБ
HC -44-1000-0.8(0.7) ГОСТ						
6	Профиль без кривизны	13,4	76,5(66,5)	97,2(96,1)	-	-
7	y = 0,864 sin x	37	316(301)	145(144)	171(157)	50,5
8	y = 1,282 sin x	44	464(442)	160(159)	304(283)	53,5
9	y = 1,634 sin xX	48	586(559)	170(168)	416(391)	54
10	y = 1,957 sin x	50,8	691(658)	176(174)	515(484)	54
11-12	Пересечение стенок гофр (d < d <sub>0</sub> )	-	-	-	-	-
H60-845-0.9 (0.8/0.7) ГОСТ						
7 (5,915 м)	Профиль без кривизны	15	122(104/85)	102(101/100)	20(3/-)	—
8	y = 0,743 sin x	30	317(281/246)	133(131/130)	184(149/116)	50
9	y = 1,126 sin x	36,2	417(371/325)	147(145/144)	270(226/181)	51
10-12	Пересечение стенок гофр (d < d <sub>0</sub> )	-	-	-	-	-
H60-845-1,0 ТУ						
8	y = 0,743 sin x	30	352	134	218	50
9	y = 1,126 sin x	36,2	464	148	316	51

$$\frac{L_2 \cdot 2}{\pi} = \sqrt{1+n^2} - \left(\frac{1}{2}\right)^2 n^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \frac{n^4}{(\sqrt{1+n^2})^3} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \frac{n^6}{(\sqrt{1+n^2})^5} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \frac{n^8}{(\sqrt{1+n^2})^7}, \quad (7)$$

6.4. Получив коэффициент n, находим высоту h мм

$$h = n \cdot h_1, \quad (8)$$

6.5. По выбранному значению X из таблицы 1 и найденной для него высоты h, строим график функции y<sub>2</sub> = n·sin(x) в программном комплексе AutoCAD, по форме которого «укладываем» профилированный лист (обязательное условие – d > d<sub>0</sub>).

6.6. Для получившегося сечения определяем геометрические характеристики сечения по формулам (рассматриваем сечение как составное, состоящие из простых геометрических фигур)

$$y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}, \quad (9)$$

$$J_x^{\text{общ}} = \sum (J_x^i \cdot \cos(a)^2 + J_y^i \cdot \sin(a)^2 + y_{ci}^2 \cdot A_i), \quad (10)$$

$$J_x^{6M} = J_x^{\text{общ}} \cdot m, \quad (11)$$

$$W_x^{6M} = \frac{J_x^{6M}}{y_c}, \quad (12)$$

где, A<sub>i</sub> – площадь i-ого элемента профилированного листа; y<sub>i</sub> – расстояние от выбранной произвольно оси X до центра тяжести i-ого элемента; y<sub>ci</sub> – расстояние от оси X, проходящей через центр тяжести сечения до центра тяжести i-ого элемента (рисунок 2); a –

угол поворота между главными осями криволинейного сечения и главными осями  $i$ -ого элемента (рисунок 2);  $J_x^{6M}$  – суммарный момент инерции всего сечения «плиты» шириной 6 м;  $J_x^{общ}$  – суммарный момент инерции всех элементов профилированного листа;  $J_{xi}$ ,  $J_{yi}$  – собственные моменты инерции  $i$ -ого элемента относительно главных осей;  $m$  – количество целых листов, помещающихся в пролет 6 м (таблица 1);  $W_x^{6M}$  – момент сопротивления всего сечения «плиты».

7. Определяем допустимую расчетную нагрузку на перекрытие. Для балки на двух опорах, шарнирно опертой по концам, проверку по первой группе предельных состояний проводим только по нормальным напряжениям [3]

$$M_x^{max} = R_y \cdot W_x^{6M}, \quad (13)$$

где,  $R_y$  – расчетное сопротивление стали равное минимальному пределу текучести, взятого из [4], уменьшенного на коэффициент надежности по материалу взятого из [3] ( $R_y=219$  МПа).

8. Зная максимальный момент определяем расчетную нагрузку на квадратный метр перекрытия в кгс/м<sup>2</sup>

$$q_{max}^{M2} = \frac{8M_x^{max}}{l^2 \cdot 6} \cdot 102, \quad (14)$$

где  $l$  – пролет в 6 м; 6 – это ширина сечения плиты перекрытия в метрах; 102 – переходный коэффициент от кН/м<sup>2</sup> к кгс/м<sup>2</sup>.

Проверка по второй группе предельных состояний не требуется, т.к. изгибная жесткость такой конструкции высокая.

9. Определение индекса изоляции воздушного шума и приведенного ударного шума производится на основе методического пособия [5], с соблюдением всех требований нормативных документов [6-7].

Предполагаем, что конструкция однослойная, состоящая из однородного материала со средней геометрической плотностью слоев

$$\rho_{ср} = \frac{\sum \rho_i \cdot h_i}{\sum h_i}, \quad (15)$$

Так же находим коэффициент  $K$

$$K_{ср} = \frac{\sum K_i \cdot h_i}{\sum h_i}, \quad (16)$$

где  $K_i$  – коэффициент по таблице 6 [5], промежуточные значения берутся методом линейной интерполяции.

Определяем  $m$ ,  $m_3$ ,  $f_b$  и  $R_b$  по формулам, и строим частотную характеристику по методическим указаниям [6], определяем индекс изоляции воздушного шума и сравниваем с нормативным показателем.

Проанализировав таблицу 13 [5] и возможные средние поверхностные плотности нашей конструкции, уровень приведенного ударного шума будет колебаться в районе 87-85 дБ, что значительно больше нормируемого показателя. Следовательно, требуется установка конструкции «плавающего пола» на звукоизоляционном слое, которая бы снижала уровень ударного шума на 27-30 дБ.

После проведенного анализа такие профили, как НС44-1000 и Н60-845 были рассмотрены более детально. В таблице 2 приведены результаты исследования несущей способности этих профилей.

По результатам таблицы 2 можно сделать вывод, что при определенном изгибе проф. листа марки Н60 и НС44 по синусоиде, можно добиться достаточной несущей способности при шестиметровом пролете, а также, с учетом устройства конструкции плавающего пола, должный уровень звукоизоляции.

На данном этапе исследования, более выигрышным вариантом является профиль марки Н60, так как имеет меньшую высоту сечения и соответственно меньший вес. Конструкция перекрытия с профилем марки Н60, подойдет для перекрытия малоэтажных и многоэтажных жилых помещений, с полезной нагрузкой 250 кг/м<sup>2</sup> (таблица 8.3 и п. 8.2.2 [8]). При повышенной нагрузке на перекрытие или увеличение пролета (более 6 м), стоит отдать предпочтение в пользу профиля НС 44, за счет возможности получения большего значения  $h_0$  (амплитуды синусоиды).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24045-94. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства.
2. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М. : 1966. – 228 с.
3. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции.
4. ГОСТ 14918-80. Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий.
5. Киселева, Е. Г. Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: учебно- методические указания к курсовой расчетно - графической работе для вечернего факультета / Е. Г. Киселева. – М. : МАРХИ, 2011. – 52 с.
6. СП 51.13330.2011. Защита от шума.

7. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

8. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия».

**Харламов И.В.** – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: hiv@mail.altstu.ru.

**Капитонов Н.В.** – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: simbo4@mail.ru.

УДК 69.059.7

## ОБНОВЛЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ БАРНАУЛА

**И. В. Харламов, В. В. Перфильев, И. О. Немченко, А. В. Иляхин**

Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*Рассмотрены проблемы, возникающие при развитии застроенных территорий. Проведен анализ положительного опыта в их решении. Внесены предложения по повышению эффективности использования территории Барнаула.*

**Ключевые слова:** развитие застроенных территорий, реновация, ветхое и аварийное жилье, расселение, застройщик, финансирование.

Проблема развития существующей городской застройки, обновления и реконструкции инфраструктуры в настоящее время приобретает особую актуальность, поскольку в городах наблюдается рост износа жилых домов, дорог и коммуникаций. Отметим также, что при развитии городов и необходимости нового жилищного строительства наблюдается дефицит свободных территорий [1].

Для Барнаула данное направление развития приобретает первоочередное значение вследствие специфики его местоположения. Город находится в излучине р. Обь [2]. Его развитию с правой стороны реки мешают ежегодные затопления во время первой и второй волн паводка с колебаниями уровня воды более пяти метров. Свободные территории под застройку с другой стороны города ограничены зоной аэропорта и реликтовым бором (рисунок 1). При этом существенная часть центральных районов, а также территорий, расположенных ближе к центру, занята малоэтажной жилой застройкой. В связи с этим в данной работе объектом исследования является микрорайон Поток, который находится в пределах проспектов Ленина и Космонавтов, улиц Малахова и Чеглецова (рисунок 2). Данная территория выбрана для разработки по следующим причинам:

Во-первых, существенная часть жилищного фонда находится в аварийном состоянии. На рисунке 2 показана наиболее харак-

терная часть данного микрорайона (очаг аварийности). Значительная часть жилья здесь не подлежит ремонту и предназначена под снос. В связи с неудовлетворительным состоянием жилой застройки часть аварийных домов уже снесена, а другие попали в долгосрочную целевую программу «Переселение граждан из аварийного жилищного фонда города Барнаула на 2013-2017 годы». Таким образом, появляется возможность использования бюджетного финансирования различных уровней для развития данной территории.

Во-вторых, все двухэтажные жилые дома в данном районе построены практически в одно время. Поэтому представляется интересным комплексное обновление территории в результате их сноса. Также следует избавиться от хозяйственных построек, которые захламляют дворы кварталов (рисунок 3).

В связи с приведенными аргументами можно отметить следующее: комплексное развитие данной территории может быть направлено не только на обновление и реконструкцию жилой застройки, но и на совершенствование планировочной структуры, организацию мест отдыха различных групп населения, создание полноценной системы культурно-бытового обслуживания, улучшение санитарно-гигиенических условий жилой среды, благоустройства, озеленения, инже-