

· КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ КРОВЕЛЬ ИЗ ПРОФИЛИРОВАННЫХ НАСТИЛОВ

В отечественной практике изготовление и применение стального профилированного настила регламентируется СТБ 1382 [1] и ГОСТ 24045 [3, 4]. В зависимости от назначения, профилированный настил с трапециевидными гофрами подразделяется по назначению на три основных вида:

- для стеновых и декоративных ограждений (тип С) с высотой от 8 до 35 мм;
- для настилов и стеновых ограждений (тип НС) с высотой от 35 до 50 мм;
- для настилов (тип Н) с высотой от 57 до 158 мм.

Традиционно область применения профилированных настилов в скатных холодных кровлях ограничивается прогонными решениями, обеспечивая нормальный водосток за счет ориентации гофров профилированных листов настила вдоль ската и, тем самым, исключается необходимость в устройстве дополнительного верхнего кровельного покрытия. Минимальный уклон кровли в Республике Беларусь регламентируется таблицей 1 ТКП 45-5.08-277-2013 [10]. Для рулонных и мастичных кровель уклон принимается не менее 3%. Для кровель из металлического профилированного настила уклон, в соответствии с [10], должен быть не менее 15°. В Российской Федерации минимальный уклон кровли для покрытий из профнастилов составляет 10% [5]. В большинстве случаев углы наклона покрытия определяются архитектурно-технологическими требованиями и часто превышают указанные выше значения.

В качестве прогонов под кровли из металлических профилированных настилов применяют стальные горячекатаные швеллеры по ГОСТ 8239, балочные двутавры по ГОСТ 8240 или СТО АСЧМ 20-93 и другой прокат. Экономичным является применение стальных холодногнутых или прессованных профилей с сечениями, развитыми в плоскости домирующего момента.

Сечение прогонов, работающих на кривой изгиб при углах наклона покрытий более 10°, определяется моментом сопротивления относительно их вертикальной оси, который для швеллеров и балочных двутавров в 5÷10 раз меньше момента сопротивления относительно их горизонтальной оси, что соответственно приводит к увеличению расхода металла. Увеличению металлоемкости способствует также применение для крепления прогонов к стропильным конструкциям дополнительных элементов крепления [4, 5].

Необходимость установки дополнительных элементов крепления и их соединение с прогонами и стропильными конструкциями на болтах повышает трудозатраты на монтаж покрытия. На стоимость покрытия влияет также необходимость временного закрепления (обеспечения монтажной устойчивости) стропильных конструкций связями в процессе монтажа.

Один из способов по снижению металлоемкости покрытий и затрат по их монтажу – это применение беспрогонных кровель, которые при применении профилированных настилов максимальной высоты при снеговых нагрузках, действующих в РБ, могут использоваться при шаге стропильных конструкций до шести метров включительно. Такое конструктивное решение применено в серии 1.460.3-14 [11]. Покрытие состоит из стропильных ферм, устанавливаемых на подстропильные фермы или балки с шагом 4 м. Непосредственно по верхним поясам укладывается и закрепляется стальной профилированный на-

стил. За основу неизменяемости покрытия в горизонтальной плоскости принят сплошной диск, образованный профилированным настилом, закрепленным на верхних поясах ферм. Настил развязывает верхние пояса из плоскости по всей длине и воспринимает все горизонтальные воздействия, передающиеся на покрытие [11]. Однако при холодных кровлях, ориентация гофров профилированных листов настила поперек ската требует обязательного устройства сплошного гидроизоляционного ковра, также уклон верхних поясов ферм по [11] составляет 0,015, что не соответствует [10]. При этом возникают дополнительные проблемы, связанные с заполнением гофров профилированных настилов. Еще один недостаток приведенного решения – небольшой шаг ферм, что приводит к увеличению расхода металла на покрытие по сравнению с другими решениями (таблица 1).

Одним из конструктивных решений при холодных и тёплых кровлях, позволяющих снизить металлоёмкость и трудозатраты на покрытия зданий и сооружений, является применение ортотропных плит и оболочек, выполненных из профилированных настилов. Верхний слой оболочки образовывается из сплошного профилированного настила, уложенного по скату на нижний слой. Нижний слой выполнен из отдельных карт настила, уложенных с определенным шагом на верхние пояса стропильных конструкций – ферм, арок и т.д. (рисунок 1).

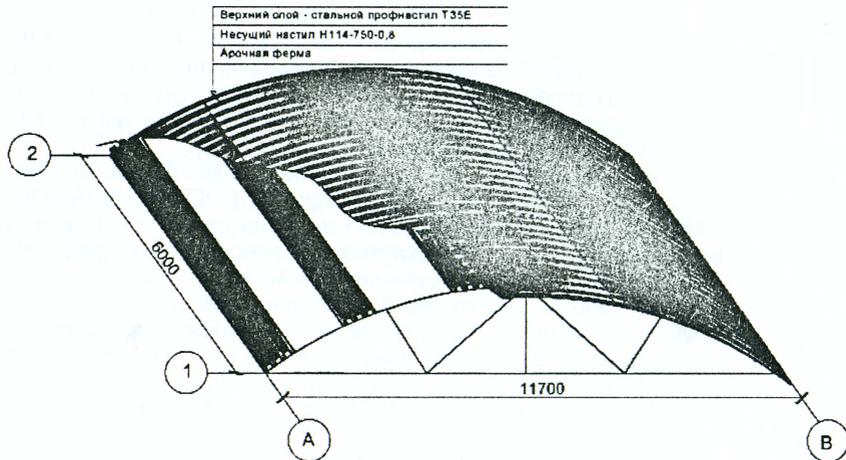


Рисунок 1 – Конструктивное решение покрытия с прогонами из профилированных листов

В случае плоского ската кровли конструкцию покрытия следует рассматривать как ортотропную плиту, а для криволинейного покрытия – как ортотропную оболочку. Верхний и нижний слои оболочки соединяются заклепками или самонарезающими винтами, образуя единую ортотропную конструкцию.

В первом приближении нижние карты профилированного настила можно рассматривать как разрезные или неразрезные прогоны, а верхний сплошной настил – как многопролетную конструкцию на упругоподатливых опорах в зонах соединения с нижними панелями. Как правило, на скатных кровлях верхний настил получается более легким, чем для варианта со сплошными прогонами. Предлагаемое конструктивное решение кровель с ортотропными конструкциями из профилированных настилов было проработано на примере покрытий для неотапливаемых складов.

Таблица 1 – Типовые стальные строительные конструкции покрытий и расход металла

№ п.п	№ серии	Описание	Расч. нагрузка на ферму в тс/м	Расход металла на 1 м ² кровли (кг)
1	2	3	4	5
1	1.460.3-14. Ст. констр. покрытий производственных зданий пролетами 18, 24, 30м, с применением ГСП	Одноэтажное производственное здание пролетом 24 м с применением ферм и связей ГСП, уклон кровли 1,5% , шаг стропильных ферм 4 м, шаг колонн 12 м. Беспрогонная кровля.	2,2	26,19
2	1.460.3-23.98. Ст. констр. покрытий производственных зданий из ГСП 18, 24 и 30 м с уклоном кровли 10%	Одноэтажное производственное здание пролетом 24 м с применением ферм ГСП и несущего профилированного настила по прогонам с уклоном кровли 10%, шаг ферм 6м, шаг колонн 12м.	2,4	19,46
3	1.860-5. Ст. констр. покрытий сельскохозяйственных зданий. Вып 2. Покрытия с малоуклонной кровлей для зданий с сеткой колонн 18х6 и 21х6 с применением асбестоцементных каркасных плит	Сельскохозяйственное здание пролетом 21, рулонная невентилируемая кровля с клоном 1,5% с применением в покрытии плит на деревянном или асбестоцементном каркасах, шаг стропильных ферм 6,0м, шаг колонн 6 м. Прогонное решение кровли.	2,4	28,5
4	1.460.2-10/88. Ст. констр. покрытий одноэтажных произв. зданий с фермами из парных уголков. Вып 1. Покрытие пролетами 18, 24,30 и 36 м с применением ЖБ плит и стального профнастила	Одноэтажное производственное здание пролетом 24 м, уклон кровли 1,5% , шаг стропильных ферм 6 м, шаг колонн 12 м. Прогонное решение кровли.	2.05	30,17
5	1.460.3-22. Ст. констр. покрытий неотапливаемых зданий Вып. 1. Конструкции покрытий зданий пролетами 18, 24 и 30 м, с кровлей из асбестоцементных волнистых листов по прогонам с шагом 1,5 м	Производственное здание неотапливаемое, пролетом 24 м, уклон кровли 2,5% , шаг стропильных ферм и колонн 6 м. Прогонное решение кровли.	2,11	27,27

Здание № 1. Покрытие с треугольными стальными фермами с уклоном поясов $\frac{1}{4}$. Шаг ферм 6 м. Пролет ферм 11,7 м, высота по коньку 1,5 м. Материал фермы – сталь С245 по ГОСТ 27772. Верхний пояс выполнен из профилей гнутых замкнутых сварных прямоугольных, нижний пояс и решетка – таврового сечения из парных уголков. В первом варианте в качестве прогонов применены швеллеры стальные из профиля гн. [200х80х6 по ГОСТ 8278. Во втором варианте роль прогонов выполняют карты стального профилированного настила Н114-750-0,8 по ГОСТ 24045 [3] (рисунок 2).

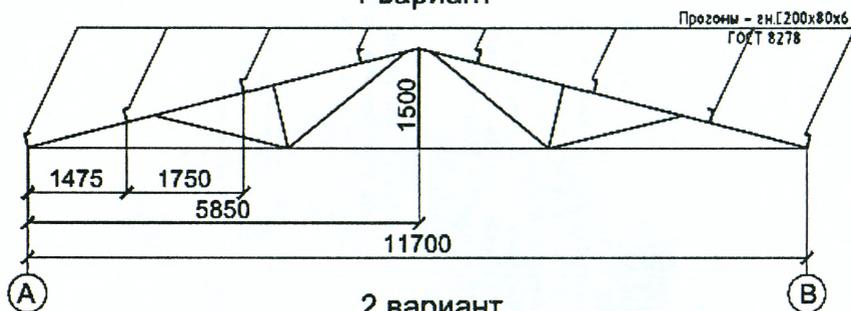
схема загрузки постоянной нагрузкой (профнастил Т35Е)



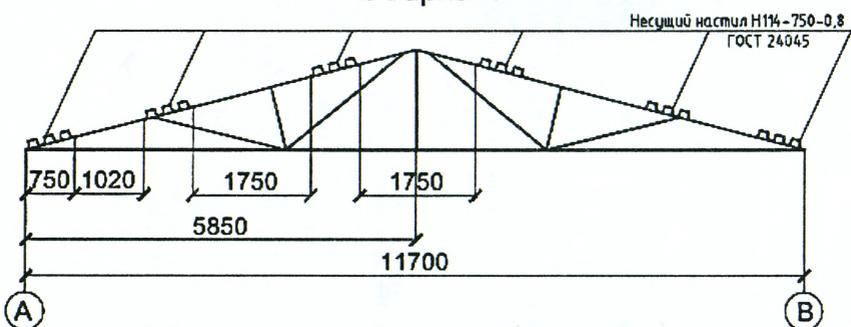
схема загрузки снеговой нагрузкой ($\mu=1$)



1 вариант



2 вариант



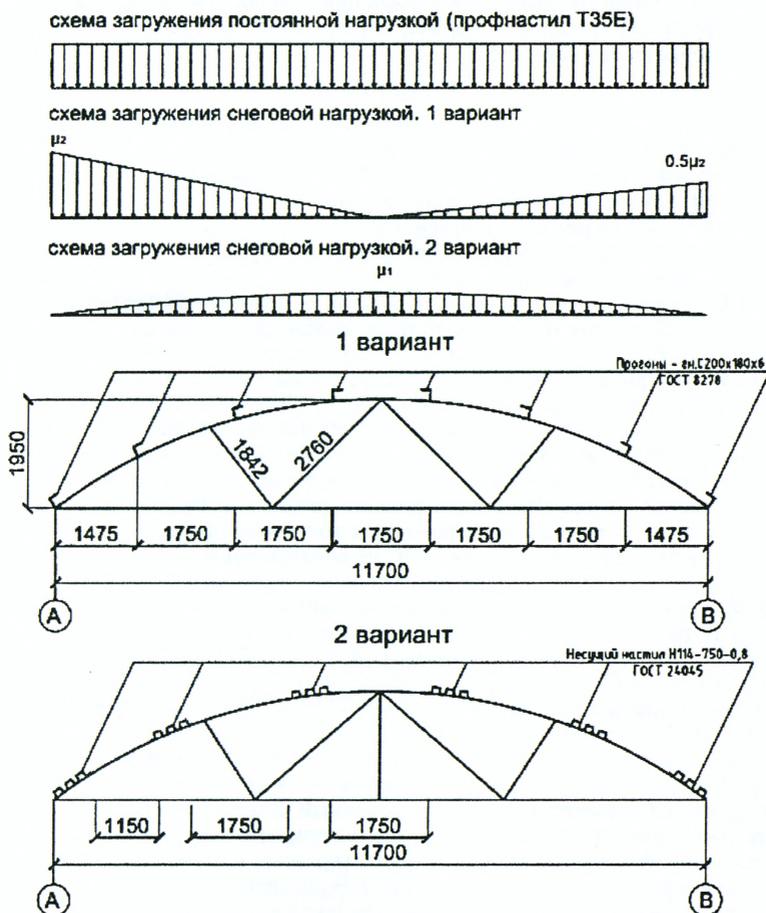
Верхний профнастил условно не показан

Рисунок 2 – Конструктивное решение покрытия по треугольным фермам с прогонами сплошного сечения и с прогонами из профилированного настила

Здание № 2. Покрытие с металлодеревянными сегментными фермами. Шаг ферм 6 м. Пролет 11,7 м, высота по коньку 1,5 м. Материал фермы – сталь С245 по ГОСТ 27772. Нижний пояс выполнен из стальных равнополочных уголков. В первом варианте в качестве прогонов применены швеллеры стальные из про-

филя гн. [200x180x6 по ГОСТ 8278. Во втором варианте роль прогонов также выполняют карты стального профилированного настила Н114-750-0,8 по ГОСТ 24045 [3] (рисунок 2).

Оценка экономичности вариантов кровель с традиционными прогонами и с прогонами из профилированных настилов производилась по расходу металла на 1 м^2 кровли. Расчет прогонов в обоих вариантах выполнялся в соответствии с требованиями СНиП II-23 [1, 6, 7] на нагрузки от собственного веса кровли и от веса снегового покрова при различных схемах его приложения в соответствии со СНиП 2.01.07-85 [8, 9] (рисунок 2, 3). При расчетном анализе предлагаемые конструкции кровель можно рассматривать как систему из прогонов, роль которых играют несущие панели из профилированных настилов.



Верхний профнастил условно не показан
Рисунок 3 – Конструктивное решение покрытия по арочным фермам с прогонами сплошного сечения и с прогонами из профилированного настила

Традиционно, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [7, 8, 9], расчет стальных профилированных настилов выполняется по двум группам предельных состояний. Прочность и жесткость (прогиб) профилированных настилов при поперечном изгибе проверяются по формулам, приведенным в пп. 25.9 [13] и 25.10 [13] и [14]. В практике проектирования подбор профилированных настилов зарубежного производства выполняется по специальным номограммам в зависимости от расчетной схемы, нагрузки и требуемой жесткости. Для отечественных настилов такие номограммы отсутствуют. Требования [13, 14] не распространяется на случаи косоугольного изгиба отдельных карт профилированного настила.

При многопролетных схемах опирания решающим является обеспечением местной устойчивости элементов профилированных настилов. Устойчивость стенок гофров над средними опорами неразрезного настила высотой не более 60 мм проверяется по формуле

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_o} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{cr}} \right) \leq m, \quad 1 \text{ (165) [13]}$$

где σ – нормальное напряжение от изгиба;

σ_{loc} – местное напряжение от реакции средней опоры;

σ_o – нормальное критическое напряжение;

σ_{cr} – местное критическое напряжение;

$m = 1$ – при опирании настила на прогон из двутавра, двух швеллеров или гнутосварного замкнутого профиля;

$m = 0,9$ – при опирании настила на прогон из одиночного швеллера.

При наибольшей высоте настила в стенках профилей устраиваются уступы. При проверке устойчивости стенок ступенчатого поперечного сечения в гофрах неразрезного профилированного настила уступ на стенке рассматривается как продольное ребро эквивалентной жесткости. Продольное ребро жесткости в виде уступа делит стенку гофра на два расчетных отсека, высоты которых h_{o1} и h_{o2} равны расстояниям от выкружек уступа соответственно до нижней и верхней полок настила. Формула (1) при работе карт настила на косоугольный изгиб не может быть использована, что требует дополнительных исследований.

Действующие нормы распространяются только на профилированные настилы, выпускаемые по требованиям [3, 4]. В соответствии с [3], профнастилы допускается изготавливать из проката тонколистового оцинкованного по ГОСТ 14918, проката тонколистового с алюмоцинковым покрытием по ТУ 14-11-247-88 и проката тонколистового с алюминированного по ТУ 14-11-236-88 из марок сталей 08пс по ГОСТ 9045, 08, 08пс по ГОСТ 1050, Ст1, Ст2, Ст3 всех способов раскатки по ГОСТ 380 и проката тонколистового холоднокатаного электролитически оцинкованного по ТУ 14-1-4695-89 из марок сталей 08кп, 08пс, 10кп по ГОСТ 1050, 08кп, 08пс по ГОСТ 9045.

Следует отметить, что в строительстве используется большое количество типов профилированного настила, выпускаемого за рубежом. ГОСТом 24045-94* [3] допускается применять прокат, получаемый по импорту, показатели качества которого удовлетворяют действующим нормативным документам. В сертификатах на профилированный настил, в большинстве случаев, указывается только величина временного сопротивления стали. В соответствии с [13], при расчете настилов расчетное сопротивление стали при растяжении, сжатии и изгибе принимается не менее $R_y = 220$ МПа, расчетное сопротивление срезу $R_s = 130$ Мпа.

Расчитанные технико-экономические показатели (ТЭП) покрытий на 1 ячейку с треугольными фермами приведены в таблице 2, с арочной фермой – в таблице 3.

Расход металла для кровель с треугольными фермами на ячейку с размерами 11,7х6 м на 1 м² кровли при использовании прогонов из профилированных листов на 60% меньше по сравнению с традиционным решением.

Таблица 2 – ТЭП покрытия с треугольной фермой на 1 ячейку 11,7 х 6 м

№ п.п	Наименование ТЭП	Масса 1 м.п., кг / м	Длина l, м	Кол-во на 1 ячейку, шт.	Масса	
					на 1 ячейку	на 1 м ² кровли
1	2	3	4	5	6	7
1 вариант						
1	Стальные прогоны гн. [200х80х6 ГОСТ 8278	15,91	6	8	763,68	10,53
2 вариант						
1	Стальной профнастил Н114-750-0,8 ГОСТ 24045	8,4	6	6	302,4	4,17

Таблица 3 – ТЭП покрытия с арочной фермой на 1 ячейку 11,7 х 6 м

№ п.п	Наименование ТЭП	Масса 1 м.п., кг / м	Длина l, м	Кол-во на 1 ячейку, шт.	Масса	
					на 1 ячейку	на 1 м ² кровли
1	2	3	4	5	6	7
1 вариант						
1	Стальные прогоны гн. [200х180х6 ГОСТ 8278	25,33	6	8	1215,84	16,15
2 вариант						
1	Стальной профнастил Н114-750-0,8 ГОСТ 24045	8,4	6	6	302,4	4,06

В покрытиях по аркам с увеличением угла наклона касательной к поясу, при использовании схемы загрузки снеговой нагрузкой по 1 варианту (рисунок 3), на несущую способность прогонов существенное влияние оказывает величина момента сопротивления относительно вертикальной оси. В этом случае применение прогонов из профилированных листов на ячейку с размерами 11,7х6 м на 1 м² кровли снижает расход металла на 75% (таблица 2).

В настоящее время средняя стоимость 1 тонны гнутого швеллера по ГОСТ 8278 в Республике Беларусь составляет 9 млн. руб., а 1 тонны профилированного настила Н114-750-0,8 по ГОСТ 24045 – 12 млн. руб. Тогда экономический эффект для треугольной фермы на ячейку с размерами 11,7х6 м от применения в качестве прогонов стального профнастила составит более 3 млн. рублей, а для арочного покрытия при тех же размерах ячейки – более 7 млн. рублей.

ВЫВОДЫ

1. Применение ортотропных конструкций из профилированных настилов для скатных кровель позволяет существенно (в 1,5...3 раза) снизить расход металла на покрытие по сравнению с традиционным прогонным решением на величину до 75% вследствие большего момента сопротивления поперечного сечения относительно вертикальной оси. Экономический эффект от применения предлагаемого конструктивного решения возрастает в арочных покрытиях с увеличением угла наклона касательной к поясу.

2. Снижению расхода металла способствует прикрепление нижнего слоя ортотропной конструкции из карт профилированного настила к стропильным конструкциям с использованием саморезающих винтов по ГОСТ 10618 или точечной сварки, так как при этом отпадает необходимость в дополнительных болтовых элементах крепления.

3. Применение ортотропных конструкций из профилированных настилов для кровель уменьшает расчетную длину сжатого пояса стропильных конструкций из их плоскости и включение ортотропной плиты и оболочки в совместную работу с поясами стропильных конструкций (вследствие их значительной ширины), что позволит снизить металлоёмкость несущих стропильных конструкций.

4. Снижению металлоёмкости и трудозатрат на монтаж покрытия способствует использование панелей из профилированных листов вместо распорок для временного закрепления стропильных конструкций в процессе их монтажа.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный стандарт Республики Беларусь. Профили стальные холодногнутые для кровель и комплектующие изделия к ним: СТБ 1382-2003. – Введ. 28.02.03. – Мн.: Минстройархитектуры РБ. – 2003. – 8 с.
2. Ищенко, И.И. Легкие конструкции одноэтажных производственных зданий / И. И. Ищенко [и др.]; под ред. И.И. Ищенко. – М.: Стройиздат, 1988.
3. Межгосударственный стандарт. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия: ГОСТ 24045-94. – Введ. 01.01.96. – Мн.: Минстройархитектуры РБ. – 1995. – 16 с.
4. Межгосударственный стандарт. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия. ИЗМЕНЕНИЕ № 1 ВУ*: ГОСТ 24045-94. – Введ. 12.09.2008. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2009.
5. Стандарт организации. Кровли зданий и сооружений. Проектирование и строительство: СТО 002-02495342-2005. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2005. – 138 с.
6. Стандарт организации. Настилы стальные профилированные для покрытий зданий и сооружений. Проектирование, изготовление, монтаж: СТО 0043-2005. – М.: ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 2005. – 23 с.
7. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции: СНиП II-23-81*. – М.: Госстрой СССР: ЦНИТП, 1990. – 96 с.
8. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – М.: Госстрой СССР: ЦНИТП, 1986. – 36 с.
9. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. Изменение №1: СНиП 2.01.07-85. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2001. – 5 с.
10. Технический кодекс установившейся практики. Кровли. Строительные нормы проектирования и правила устройства: ТКП 45-5.08-277-2013. – Введ. 10.04.2013. – Мн.: Минстройархитектуры РБ. – 2013. – 27 с.
11. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно». Чертежи КМ: Серия 1.460.3-14. – Введ. 01.06.1982. – Госстрой СССР. – 1982. – 135 с.
12. Холодное скатное покрытие зданий / А.В. Мухин, А.Б. Шурип, М.А. Луговой, В.Н. Пчелин, Ю.Ю. Маркулевич; заявитель УО «Брестский гос. тех. ун-т.» – № 20130612 от 22.07.2013. Пол. реш. от 19.09.2013 № 9879.
13. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
14. Рекомендации по применению стальных профилированных настилов нового сортамента в утепленных покрытиях производственных зданий / ЦНИИПроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова. – М., 1985. – 30 с.

Таблица 1 – Типовые стальные строительные конструкции покрытий

№ п.п	№ серии	Описание	Расч. нагрузка на ферму в тс/м	Расход металла на 1 м ² кровли (кг)
1	2	3	4	5
1	1.460.3-14. Ст. констр. покрытий производственных зданий пролетами 18, 24, 30м, с применением ГСП	Одноэтажное производственное здание пролетом 24 м с применением ферм и связей ГСП, уклон кровли 1,5% , шаг стропильных ферм 4 м, шаг колонн 12 м. Беспрогонная кровля.	2,2	26,19
2	1.460.3-23.98. Ст. констр. покрытий производственных зданий из ГСП 18, 24 и 30 м с уклоном кровли 10%	Одноэтажное производственное здание пролетом 24 м с применением ферм ГСП и несущего профилированного настила по прогонам с уклоном кровли 10%, шаг ферм 6м, шаг колонн 12м.	2,4	19,46
3	1.860-5. Ст. констр. покрытий сельскохозяйственных зданий. Вып 2. Покрытия с малоуклонной кровлей для зданий с сеткой колон 18х6 и 21х6 с применением асбестоцементных каркасных плит	Сельскохозяйственное здание пролетом 21, рулонная невентилируемая кровля с клоном 1,5% с применением в покрытии плит на деревянном или асбестоцементном каркасах, шаг стропильных ферм 6,0м, шаг колонн 6 м. Прогонное решение кровли.	2,4	28,5
4	1.460.2-10/88. Ст. констр. покрытий одноэтажных произв. зданий с фермами из парных уголков. Вып 1. Покрытие пролетами 18, 24,30 и 36м с применением ЖБ плит и стального профнастила	Одноэтажное производственное здание пролетом 24 м, уклон кровли 1,5% , шаг стропильных ферм 6 м, шаг колонн 12 м. Прогонное решение кровли.	2,05	30,17
5	1.460.3-22. Ст. констр. покрытий неотапливаемых зданий Вып. 1. Конструкции покрытий зданий пролетами 18, 24 и 30 м, с кровлей из асбестоцементных волнистых листов по прогонам с шагом 1,5 м	Производственное здание неотапливаемое, пролетом 24 м, уклон кровли 2,5% , шаг стропильных ферм и колонн 6 м. Прогонное решение кровли.	2,11	27,27

УДК 624.014.2

Седляр Т.Н.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОСТ-НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ зданий и сооружений - предельный срок службы зданий и сооружений, в течение которого они не утрачивают необходимых эксплуатационных качеств. Долговечность здания и сооружения определяется сроком службы его основных конструкций (например, фундаментов, несущих стен или каркаса).