

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

Строительно-технологический факультет

Кафедра «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»

УДК 624.014.7

Допустить к защите в ГЭК

Зав. кафедрой _____ И.В. Носков

" _____ " _____ 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

МД 08.04.01.14.000 ПЗ

(обозначение документа)

«Анализ схем раскладки прогонов из холодногнутых Z, С и

сигма - образных профилей»

(тема работы)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Студент группы 8С-51

(подпись)

Т.Е. Легалова

(И.О. Фамилия)

Научный руководитель доцент, к.т.н

(подпись)

А.А. Кикоть

(И.О. Фамилия)

Барнаул 2017

Реферат

Пояснительная записка содержит: страниц - 77; таблиц – 29; формул – 3; рисунков – 26; приложений – 3.

Ключевые слова: стальной тонкостенный холодногнутый профиль, прогон, Z-образное сечение, CFSteel v3.1.

Цель работы – найти рациональные схемы раскладки прогонов из стальных холодногнутых оцинкованных профилей Z - образного сечения.

Объект исследования: прогоны из стальных холодногнутых оцинкованных профилей Z-, С- и Сигма-образного сечения.

Предмет исследования: выявление рациональных схем раскладки прогонов из стальных холодногнутых оцинкованных профилей Z-образного сечения.

Теоретическая основа работы: методы строительной механики; методы расчета строительных конструкций; метод конечных элементов.

Научная новизна исследования: выявлены рациональные, с точки зрения расхода металла и расхода метизов, раскладки прогонов.

Основной эффективностью работы является экономическая, заключающаяся в выявлении рациональной схемы раскладки прогонов из стальных холодногнутых Z – образных профилей.

Область применения и внедрения: строительство, при устройстве ограждающих конструкций кровли жилых, общественных, производственных зданий.

Содержание

| | |
|--|----|
| 1 Введение | 5 |
| 2 Главы основной части..... | 7 |
| 2.1 Анализ состояния проблемы..... | 7 |
| 2.1.1 Используемые стальные холодногнутые профили в качестве прогонов..... | 7 |
| 2.1.2 О технологии изготовления стальных тонкостенных холодногнутых профилей..... | 9 |
| 2.1.3 Обзор литературы. | 10 |
| 2.2 Методика проведения научно-исследовательской работы | 18 |
| 2.2.1 Схемы раскладки прогонов..... | 18 |
| 2.2.2 Программный комплекс CFSteel v3.1. | 22 |
| 2.2.3 Методика расчетов, изложенная в руководстве пользователя CFSteel v 3.1 «Программа расчёта элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей». | 23 |
| 2.3 Расчеты прогонов из Z –образных профилей..... | 34 |
| 2.3.1 Сбор нагрузок..... | 34 |
| 2.3.1.1 Сбор гравитационной нагрузки..... | 34 |
| 2.3.1.2 Сбор подъёмной (ветровой) нагрузки. | 35 |
| 2.3.2 Расчет для прогонов из стали С245..... | 39 |
| 2.3.3 Расчет для прогонов из стали С350..... | 42 |
| 2.3.4 Расчет для прогонов из стали С450..... | 45 |
| 2.3.5 Выводы по расчётам. | 48 |
| 2.3.6 Техничко-экономические показатели..... | 49 |
| 3 Заключение | 57 |

| | |
|--|-------|
| 4 Список использованных источников. | 59 |
| Приложение А. Задание на выполнение магистерской диссертации | 67 |
| Приложение Б. Справка о результатах проверки в системе «Антиплагиат. Вуз» расчетно – пояснительной записки | 70 |
| Приложение В. Пример расчета двухпролетного прогона из стали С350, уклон 15°, 1 связь в программе CFSteel v 3.1 | 71-77 |

1 Введение

С возникновением новых технологий строительства появилась возможность использования в строительстве прогонов из стальных тонкостенных холодногнуто́х профилей. Снижение металлоёмкости несущей конструкции кровли здания из прогонов из стальных тонкостенных холодногнуто́х профилей достигается: за счёт применения различных схем раскладки прогонов и за счёт применения новых профилей тонколистового проката.

Положительная особенность стальных тонкостенных холодногнуто́х профилей заключается в лёгкости, благодаря тому, что конструкции этих зданий не требуют тяжёлых фундаментов, не требуют серьёзных подъёмных механизмов, монтируются лёгким автокраном, монтаж может быть осуществлён круглогодично. Эти качества привлекли к себе внимание, так как прогоны кровли монтируются на высоте, и применение стальных тонкостенных холодногнуто́х профилей будет актуальным особенно в России из-за холодных климатических условий.

Актуальность работы.

Обычный подход к проектированию и строительству прогонов из тонкостенных холодногнуто́х Z-, С- и Сигма – образных профилей зданий состоит в назначении фиксированного пролета, габаритной высоты и рациональной конструктивной схемы. Такой подход, естественно, приводит к большому числу вариантов раскладки прогонов, что затрудняет их реализацию по технико-экономическим критериям. Для сокращения количества типоразмеров используются унифицированные параметры зданий, что, в свою очередь, приводит к нерациональному использованию их площадей.

Поэтому центральным вопросом проектирования в данном случае – найти рациональную схему раскладки прогонов из тонкостенных холодногнуто́х Z-, С- и Сигма – образных профилей.

Объект исследования

Объектом исследования являются прогоны из стальных холодногнутох оцинкованных профилей Z-, С- и Сигма-образного сечения.

Предмет исследования

Предметом исследования является выявление рациональных схем раскладки прогонов из стальных холодногнутох Z- образных профилей.

Цель исследования

Целью исследования, которой посвящена данная диссертационная работа, является выявление рациональных схем раскладки прогонов из стальных тонкостенных холодногнутох Z-образных профилей.

Достижение цели возможно через реализацию следующих задач:

- 1) произвести обзор существующих схем раскладки прогонов из холодногнутох Z-, С- и Сигма – образных профилей;
- 2) проанализировать обзор литературы предшествующих отечественных и зарубежных исследований в области исследования прогонов из стальных холодногнутох тонкостенных профилей.
- 3) произвести моделирование и расчет для прогонов из стальных тонкостенных холодногнутох Z-образных прогонов в программе CFSteel v3.1;
- 4) на основании произведенных расчетов подобрать наиболее рациональные схемы раскладки прогонов из Z – образных профилей.
- 5) оценить материальную и экономическую эффективность применения различных схем раскладки прогонов из Z – образных профилей.

2 Главы основной части

2.1 Анализ состояния проблемы

2.1.1 Используемые стальные холодногнутые профили в качестве прогонов

Холодногнутый стальной профиль - это стальной профиль, получаемый на непрерывных прокатных станах или установках без нагрева стали. Это могут быть сварные трубы квадратного и прямоугольного сечения (замкнутые) или швеллера, Сигма-, Z-, С- профили (открытые). В качестве прогонов используют такие сечения как: Z- , С - , и Сигма – образные стальные тонкостенные холодногнутые профиля. Также есть их разновидности: типа «термопрофиль».

Стальные, холодногнутые, оцинкованные профили следует изготавливать из холоднокатаного листового проката из углеродистой стали, оцинкованной в агрегатах непрерывного цинкования по ГОСТ Р 52246 толщиной от 1 до 4 мм, повышенной точности проката по толщине и ширине, нормальной плоскостности с обрезной кромкой и цинковым покрытием класса 275, или по ГОСТ 14918 толщиной до 2,5 мм включительно [1].

Строительные конструкции с применением стальных тонкостенных холодногнутых профилей по техническим, технологическим и экологическим параметрам следует проектировать таким образом, чтобы при строительстве и эксплуатации обеспечивались следующие функциональные требования:

а) механическая безопасность – строительные конструкции должны обладать необходимой несущей способностью и живучестью при возможных неблагоприятных сочетаниях нагрузок и воздействий, которые могут возникнуть в процессе строительства и в течение расчетного срока службы;

б) надежность – невозможность превышения конструкциями предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы;

в) долговечность – объекты должны быть спроектированы таким образом, чтобы в течение расчетного срока службы их эксплуатационные характеристики, включая механические свойства стали и трещиностойкость.

Z-профиль относится к основным видам профилей для монтажа в качестве прогонов покрытия для кровель, благодаря сечению применяется на кровле в многопролетной схеме, смотри рисунок 2.1 и рисунок 2.2.



Рисунок 2.1 - Z-образный стальной тонкостенный холодногнутый профиль в качестве прогонов



Рисунок 2.2 – Z-образный профиль в качестве прогонов в ТК Палата, Барнаул,
Павловский тракт,188

г) живучесть – строительные конструкции должны быть спроектированы таким образом, чтобы сохранялась полная или частичная пригодность к эксплуатации после повреждения, когда какой-либо конструктивный элемент в составе пространственной или плоской конструкции полностью или частично теряет несущую способность;

е) огнестойкость стальных тонкостенных холодногнутому профилей [2].

2.1.2 О технологии изготовления стальных тонкостенных холодногнутому профилей

Изготовление стальных тонкостенных холодногнутому профилей с помощью холодной формовки основано на способности металла к пластической деформации. Пластическая деформация остается в профиле и после снятия с него нагрузки. При холодной гибке пластическая деформация сопровождается изменениями в структуре материала, возникающими в период упрочнения – так называемый наклеп материала. В момент окончания профилирования волокно исходного материала приобретает деформацию, соответствующую напряжению выше начального предела текучести. Вследствие этого происходит повышение предела текучести и предела прочности материала, а также снижение его пластичности и относительного удлинения. Изменения механических свойств стали зависят от степени полученного наклепа. Изменения прочностных свойств стали зависят от положения волокна в готовом профиле, величины и формы профиля, радиуса гибки угла, количества фаз гибки во время профилирования и от числа роликов в гибочной машине. Чем короче прямые участки профиля, тем больше степень изменения механических свойств.

Стальные тонкостенные холодногнутому профили изготавливают путем холодного деформирования следующими методами:

1. Холодная гибка оцинкованного листа на кромкозагибочных прессах;

2. Холодная гибка оцинкованного листа на прокатных многовалковых (многоклетьевых) станах.

Второй метод изготовления более предпочтителен, он представлен на рисунке 2.3. Заменяя деформацию растяжения при гибке сжатием, можно прокатывать профили различной конфигурации, с гарантированными параметрами (площадь сечения, моменты сопротивления, осевые моменты инерции, радиусы инерции). В меньшей степени образуются такие дефекты как трещина, волнистость, остаточная деформация после отреза [2].



Рисунок 2.3 - Прокатный многовалковый (многоклетьевой) стан.

2.1.3 Обзор литературы

За последние годы в нашей стране особое место в строительстве занимают стальные тонкостенные холодногнутые профили, имеющие ряд технологических и эксплуатационных достоинств (легкость, быстровозводимость в конструкциях и т.д.) [3,4]. Наиболее эффективным на данном этапе внедрения технологии легких холодногнутых профилей на строительный рынок, является применение стальных тонкостенных холодногнутых профилей в качестве прогонов. Основной несущей конструкцией является тонкостенный холодногнутый профиль разнообразного сечения.

Тонкостенные профили как легкий и универсальный строительный материал были изобретены еще в начале XX века. Основы развития методов расчета тонкостенных стержней на протяжении XX и начала XXI вв. подробно описываются в работе Рыбакова В.А. [3].

Несмотря на широкую распространенность подобных конструкций в России, на сегодняшний день существуют существенные недостатки нормативной, методической и расчетно - вычислительной базах по расчету стальных тонкостенных холодногнутох профилей. Одна из основных проблем развития отрасли в России – это отсутствие общепризнанных норм расчета и конструирования стальных тонкостенных холодногнутох профилей. В США холодноформованные конструкции изучаются уже более 70 лет. В наших странах все еще идет дискуссия по поводу поиска оптимальной методики проектирования таких конструкций. На данный момент наиболее признанными и авторитетными документами в этой сфере являются Североамериканский стандарт [5], нормы Еврокод [6] и национальный стандарт Австралии / Новой Зеландии[7].

Изучением работы тонкостенных холодногнутох профилей в качестве прогонов занимались многие отечественные исследователи. Следует отметить работы Айрумяна Э.Л.[8,9], Туснина А.Р.[10], Рыбаков В.А. [3].

Можно отметить, что производством и изготовлением стальных тонкостенных холодногнутох профилей занимаются многие отечественные и зарубежные производители. Некоторые из компаний производителей представляется в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Производители стальных тонкостенных холодногнутох профилей

| Производители | Год основания | Характеристика | Интернет доступ |
|---------------|---------------|--|---|
| Ayrshire [11] | 1819 | Производство металлоконструкций С, Z и сигма холодногнутох профилей в Западной Европе, Германии. | http://www.ayrshire.co.uk |
| Metsec [12] | 1930 | Производство стальных тонкостенных холодногнутох профилей в Европе | http://www.metsec.com |

Продолжение таблицы 2.1

| | | | |
|----------------------|------|---|---|
| Stratco [13] | 1948 | Производство металлоконструкций в Австралии, Европе | https://www.stratco.com.au |
| Kingspan [14] | 1965 | Производство ЛСТК в Европе, России | https://www.kingspan.com |
| Pruszynski [15] | 1985 | Производство металлоконструкций в Центральной и Восточной Европы | http://www.pruszynski.com.ua |
| Lindab Group [16] | 1959 | Производство металлоконструкций в Западной и Восточной Европе | http://www.lindabgroup.com |
| Joris Ide [17] | 1985 | Производство легких стальных тонкостенных холодногнутох профилей в России | http://www.joriside.ru |

В статьях [3, 4] приводятся результаты изучения особенностей работы тонкостенных холодногнутох профилей и рассматриваются основные подходы, применяемые при проектировании таких конструкций, как в России, так и за рубежом. Кроме всех описанных выше особенностей работы тонкостенных профилей, при проектировании прогонов покрытия необходимо учитывать влияние на их несущую способность, прикрепленных к ним, ограждающих конструкций. Известно [18, 19], что конструкции покрытия (из профилированного настила) выполняют не только ограждающие функции, но и существенно влияют на работу прогонов, так как могут обеспечивать некоторую сдвиговую жесткость в плоскости покрытия и положительно влиять на несущую способность прогонов.

Бобарыкина О.Б. [20,21] и Беляев В.Ф. [22] в своих работах рассматривали несущую способность прогонов покрытия из тонкостенных гнутох профилей с учетом влияния стального профилированного листа. Проанализировали совместную работу прогонов из тонкостенных гнутох профилей с настилом из профилированного листа.

Туснина О.А. [23,24] исследовала поведение Z-образных прогонов, закрепленных из плоскости с помощью сэндвич-панелей.

Туснина О.А. [25] производит расчет прогона покрытия C-образного профиля, выполняет физически и геометрически нелинейный численный расчет, определяет составляющие напряженно-деформированного состояния прогона, проводит оценку влияния искривления контура поперечного сечения на величину угла закручивания прогона относительно продольно оси, выполняет расчет общей устойчивости плоской формы изгиба по СП.

Также Туснина, О.А. [26] в своей работе выявила, что искривление поперечного сечения тонкостенных холодногнутых прогонов существенно влияет на их напряженно-деформированное состояние. Наибольшее искривление контура поперечного сечения прогона наблюдается вблизи опоры, что ведет к увеличению угла закручивания его вокруг продольной оси.

Samotim D. [27] представил результаты исследований поведения C- и Z-образных холодногнутых стальных прогонов, закрепленных стальной листовой обшивкой.

Астахов И.В. [28-30] составил алгоритм и программу расчета на пространственную устойчивость тонкостенных стержней из гнутых профилей открытого сечения с учетом различных условий загрузки; распределения механических характеристик стали и остаточных напряжений; начальных искривлений и углов закручивания; формы сечения; а также возможной потери местной устойчивости.

Более современные исследования проводились Даниловым А.И.[31,32], в своих работах привел экспериментальные и теоретические исследования работы тонкостенного холодногнутого прогона в составе конструкции покрытия из сэндвич-панелей. Выполнил испытания фрагмента покрытия, определил перемещения и напряжения в прогоне на каждом шаге загрузки.

Семенов, А.С. [33] также проводил исследование работы холодногнутого профилей в составе конструкции покрытия.

Изучением совместной работы прогонов покрытия и ограждающих конструкций занимались многие зарубежные исследователи [34 - 37].

Влияние на несущую способность прогонов ограждающих конструкций из профилированного настила рассматривается в статье Balazs, Melcher, Horacek [38]. Задача статьи – количественно, с использованием положений Европейских стандартов, оценить препятствующий закручиванию прогона эффект, оказываемый различными типами профилированного настила. В работе выполнена проверка несущей способности прогонов с учетом, прикрепленного к ним, профилированного настила и без него, с приведением сравнения этих величин.

В статье [39] описаны подобные исследования, отличие которых заключается в том, что профилированный настил прикреплялся к прогонам не в каждом гофре, а только в двух крайних.

В работе [40] выполнялись численные расчеты системы покрытия, состоящей из холодногнутого прогона Z-образного профиля и, прикрепленного к нему, профилированного настила с теплоизоляцией в вычислительном комплексе MSC.Marc. Результаты численного расчета сравнивались с экспериментальными исследованиями реальной модели. Была достигнута достаточная точность численного моделирования.

Lucas R.M., Albermani. F.G.A., Kitiporchai S. [41, 42] в статье представили две модели. Первая модель включает в себя прогон и профилированный лист, а вторая, упрощенная версия первой модели, включающая в себя только прогон. Обе модели способны учитывать изгибно-крутильные деформации прогона, и деформацию прогонами по местной устойчивости и текучести. Модели показали их хорошую сопоставимость с экспериментальными результатами.

Seek, M. W. and Murray, T. M. [43] боковое ограничение и удерживающая сила Z-прогона через связи, были изучены с использованием метода конечных элементов. Одно – и трёх- пролетной непрерывной системы со связями были рассмотрены в скатной крыше, с уклоном, изменяющимся от нуля до

восемнадцать градусов. Рекомендаций по изменению существующих прогнозирования силы крепления уравнения составляются.

В статье [44] Chen, J.K. and Li, L.Y. представлены результаты исследования влияния изменения напряжений на упругое критическое напряжение потери устойчивости деформированных из холодногнутой стальной профили облицовки крыши зданий. Критические напряжения потери устойчивости холодногнутой балок профиля подвергались воздействию равномерно распределенной поперечной нагрузки рассчитывается с использованием модели, недавно предложенной Chen, J.K. и Li, L.Y. Разделы в работе исследованы Z - и Сигма-профили.

Научно-исследовательская работа Н.С. Но К.Ф. [45] включает в себя разработки комплекса рациональных правил проектирования для многопролетные системы с прогонами перекрытий из холодногнутой стальной профили Z-образного сечения в современном строительстве крыши.

Работа Alomir H. Favero Neto, Luiz S. M. [46] включает анализ прочности и жесткости многопролетных стальных холодногнутой прогонов, подвергнутых сгибанию. Серии из девяти холодногнутой стальной профили Z-образного сечения с накладками и перехлестами на болтовых соединениях были испытаны на изгиб. Результаты показывают, что меняется модуль сдвига что способствует раннему развитию местной потери устойчивости в сжатых соединениях. Помимо экспериментов, в работе проведено численное и аналитическое исследование прочности и жесткости многопролетного прогона, а также аналитический метод прогнозирования вертикального перемещения.

Liu, Q. [47] проанализировал проектирование из холодногнутой стальной Сигма – образных профили в качестве многопролетных прогонов при строительстве современных промышленных и жилых зданий.

В статье Dubina, D. and Ungureanu, V. [48] анализируется влияние недостатков на поведение холодногнутой стальных элементов. Особое внимание уделяется характеристике и кодификации недостатков для нелинейного моделирования МКЭ.

В работе Sokol, L. [49] Z прогон с одним профилированным листом под гравитационной нагрузкой был исследован через экспериментальные, аналитические и численные (методы конечных элементов) подходы. Исследование проводилось для того чтобы показать, что численные модели могут использоваться исключительно для изучения эффективности холодногнутого прогона.

Исследователи Pham, С.Н. [50] и Davies, J.M. [51] испытывали на прочность конструкции из холодногнутого С - профилей в сочетании изгиба и сдвига и только изгиба на двух экспериментальных приборах.

Изучением и испытанием соединения внахлест холодногнутого Z-образного прогона занимались Но Н.С. [52,53], Chung K.F. [54].

Изучением и испытанием болтового соединения внахлест холодногнутого Z-образного прогона занимались Dubina D., Ungureanu V. [55].

В работах [56-58] приводится анализ прочности и жесткости многопролетных стальных холодногнутого прогонов, подвергнутых изгибу.

Так же изучением соединения прогонов занимались [59,60,61].

Помимо анализа и разработки конструктивных форм несущих ЛСТК известны численные и экспериментальные исследования болтовых соединений, а также соединений на самонарезающих винтах Беляева Б.Е. [62] Павлов А. Б., Бабушкин В. М. [63], Корниенко В. С. [64], Савельева В.Н., Чеснокова А.С., Одесского П.Д. и др. Изучением разъемных соединений тонкостенных элементов занимались Абовский Н.П. и Енджиевский Л.В. [65], предложившие способ соединения тонколистовых элементов между собой при помощи специальных шайб, образующих шпоночно-болтовое соединение. Известны исследования Вейнבלата Б.М. и Бунеева Г.И. [66], в которых установлено, что на несущую способность болтовых соединений существенное влияние оказывает разность толщин соединяемых элементов. Однако такие исследования проводились лишь для элементов толщиной от 10 мм.

В рекомендациях Москалева Н.С. отмечается необходимость применения в тонколистовых соединениях на высокопрочных болтах обжимающих накладок,

изготовленных из более толстых полос, но автор не уточняет какие-либо условия их применения, а также не приводит характеристик соединений с ее использованием.

На необходимость исследования и разработки нормативных документов, учитывающих особенности работы болтовых соединений тонколистового проката толщиной до 4 мм, указывают работы Ведякова И.И., Одесского П.Д., Соловьева Д.В. [67]. Авторы отмечают, что повышению несущей способности болтовых соединений способствуют конструктивные мероприятия, позволяющие увеличить площадь контакта соединяемых элементов: использование шайб с уширенным полем и болтов с увеличенными диаметрами головок и гаек.

Выводы: 1. Многие современные исследователи рассматривали совместную работу прогонов из тонкостенных гнутых профилей с настилом из профилированного листа, и доказали, что профилированный лист существенно влияет на работу прогонов, так как может обеспечивать некоторую сдвиговую жесткость в плоскости покрытия и положительно влиять на несущую способность прогонов.

2. Аналогично пункту 1. выводов были рассмотрены работы на совместную работу прогонов из тонкостенных гнутых профилей с настилом из сэндвич-панелей.

3. Были попытки изучения бокового ограничения и удерживающей силы Z-прогона через связи, с использованием метода конечных элементов. Однако, рекомендации по изменению существующих удерживающих сил крепления составляются.

4. Также были выполнены расчеты многопролетного прогона из Z-образного профиля. Результаты показали, что меняется модуль сдвига что способствует раннему развитию местной потери устойчивости в сжатых соединениях.

5. Изучением и испытанием соединения внахлест на болтах холодногнутого Z-образного прогона были просвещены много работ. Необходимость применения в тонколистовых соединениях на высокопрочных болтах обжимающих накладок, изготовленных из более толстых полос, но автор не уточняет какие-либо условия

их применения, а также не приводит характеристик соединений с ее использованием.

б. В результате обзора литературы было выявлено, что расчеты схем раскладки прогонов были произведены, но вопрос о сравнении схем раскладки прогонов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей до сих пор остаётся открытым.

2.2 Методика проведения научно-исследовательской работы

В данной магистерской диссертации были поставлены следующие задачи:

- проанализировать обзор литературы предшествующих отечественных и зарубежных исследований в области исследования прогонов из стальных холодногнутых профилей.

- произвести обзор существующих схем раскладки прогонов из холодногнутых Z - ,С - и Сигма – образных профилей;

- произвести моделирование и расчет для прогонов из стальных тонкостенных холодногнутых Z-образных прогонов в программе CFSteel v3.1;

- на основании произведенных расчетов подобрать наиболее рациональные схемы раскладки прогонов из Z – образных профилей.

- оценить материальную и экономическую эффективность применения различных схем раскладки прогонов из Z – образных профилей.

Обзор литературы был представлен в пункте 2.3 данной магистерской работе.

Обзор существующих схем раскладки прогонов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей представлен в пункте 3.1.

Расчеты выполнялись в программном комплексе CFSteel v3.1. данные о программе и расчеты в ней представлены в пункте 4.2 и пункте 4.4.

2.2.1 Схемы раскладки прогонов

Анализ систем прогона, применяемых такими компаниями как Ayrshire[11], Metsec[12], Lindab Group[16], Stratco[13], Kingspan[14], Pruszynski[15] показал, что наиболее распространенными являются следующие системы:

1 . Разрезная однопролетная схема

Прогоны укладываются на несущие конструкции по однопролетной схеме без перехлёстов и накладок. Данная система представлена на Рисунке 2.4.

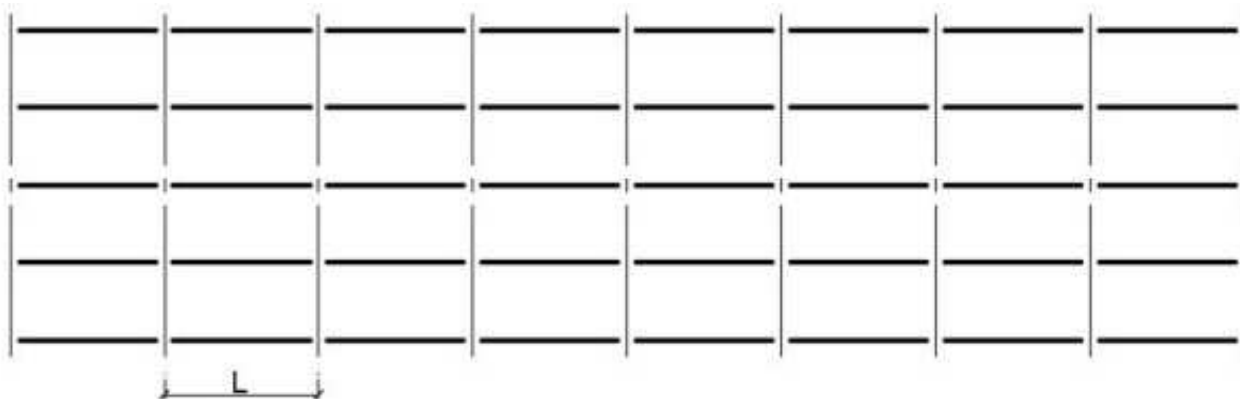


Рисунок 2.4 – Разрезная однопролетная схема

2. Система Н.Е.В. – Однопролетные прогоны с накладками или перехлёстами

В основном применяются для зданий с пятью и более пролётами. Максимальный пролет достигает 15 метров. Усиленные прогоны располагаются в крайних шагах опорных конструкций. Соединения прогонов в единую конструкцию осуществляется с помощью накладок такого же сечения, как и прогон наружного шага и они длиннее, чем стандартные накладки. Все стыки внутренних прогонов осуществляются на накладках такого же сечения, как и прогоны во внутренних пролетах. Система является неразрезной балкой. Данная схема представлена на Рисунке 2.5

Усиление крайних пролётов достигается двумя способами: увеличением толщины или применение двойного прогона.

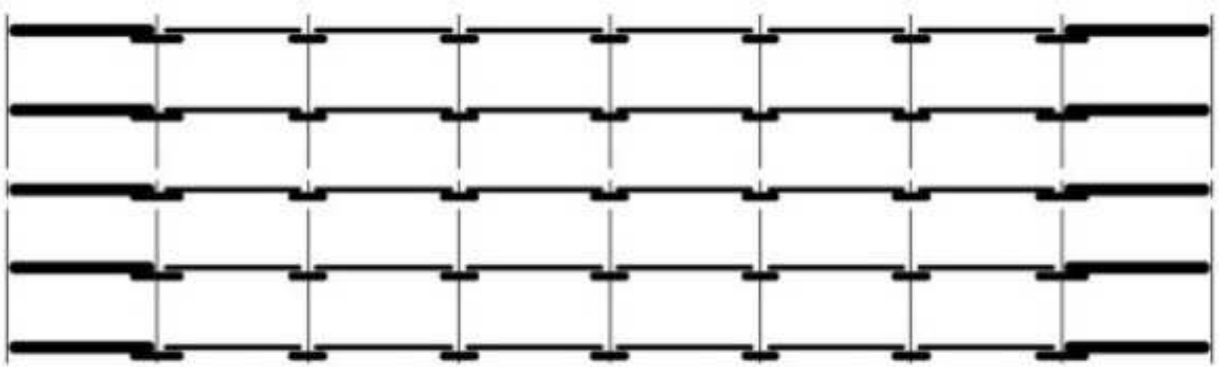


Рисунок 2.5 - Система Н.Е.В. – однопролетные прогоны с накладками или перехлёстами

3. Система Н.Е.В. – Двухпролётные прогоны с накладками или перехлёстами

Внутренние прогоны в двухпролётном исполнении. Соединения прогонов в единую конструкцию осуществляется с помощью накладок такого же сечения, как и прогон наружного шага и они длиннее, чем стандартные накладки. Все стыки внутренних прогонов осуществляются на накладках такого же сечения, как и прогоны во внутренних пролетах. Система является неразрезной балкой. Данная система представлена на Рисунке 2.6.

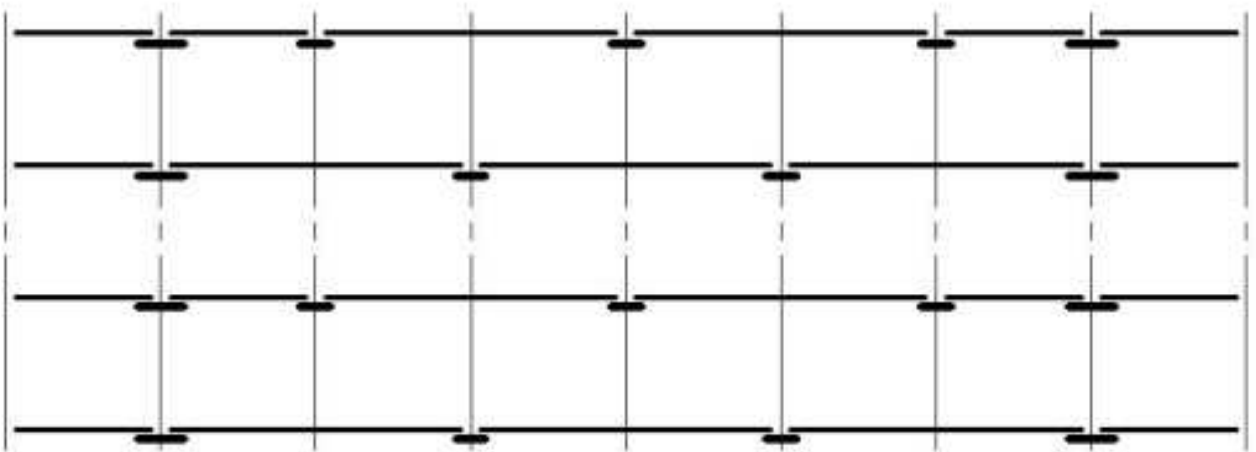


Рисунок 2.6 - Система Н.Е.В. – Двухпролётные прогоны с накладками или перехлёстами

4. Система с накладками - однопролетные прогоны

Часто используются в относительно коротких зданиях, где невозможно использовать Н.Е.В. системы. Накладки обеспечивают неразрезность цепи прогонов, а также усиливают сечение прогонов на опоре. На предпоследней раме

накладка устанавливается в любом случае. Данная система представлена на Рисунке 2.7.

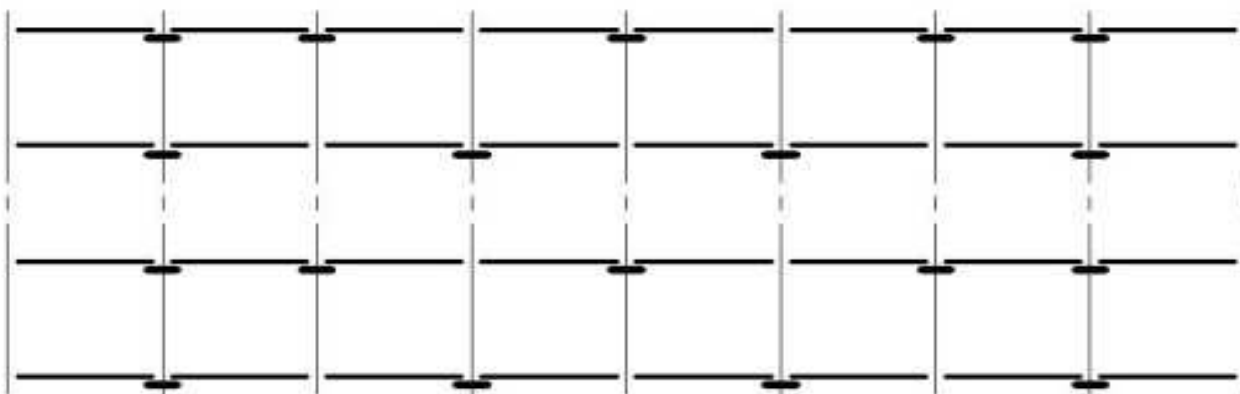


Рисунок 2.7 - Система с накладками - однопролетные прогоны

5. Системы с перехлестами

Для зданий с количеством пролетов прогонов 4 и более. Усиленные прогоны располагаются в крайних шагах, а стандартные прогоны во внутренних шагах.

Неразрезность обеспечивается перехлестом в местах опирания. Чаще применяются для Z-образных прогонов. Данная система представлена для однопролетной схемы на Рисунке 2.8 и двухпролетной схемы на Рисунке 2.9.

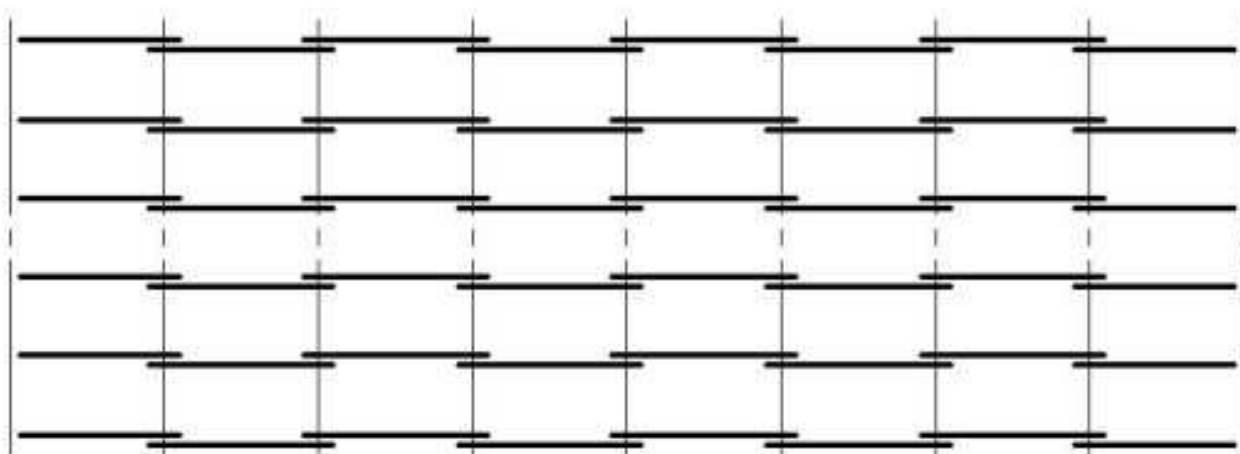


Рисунок 2.8 – Система однопролетная с перехлестами

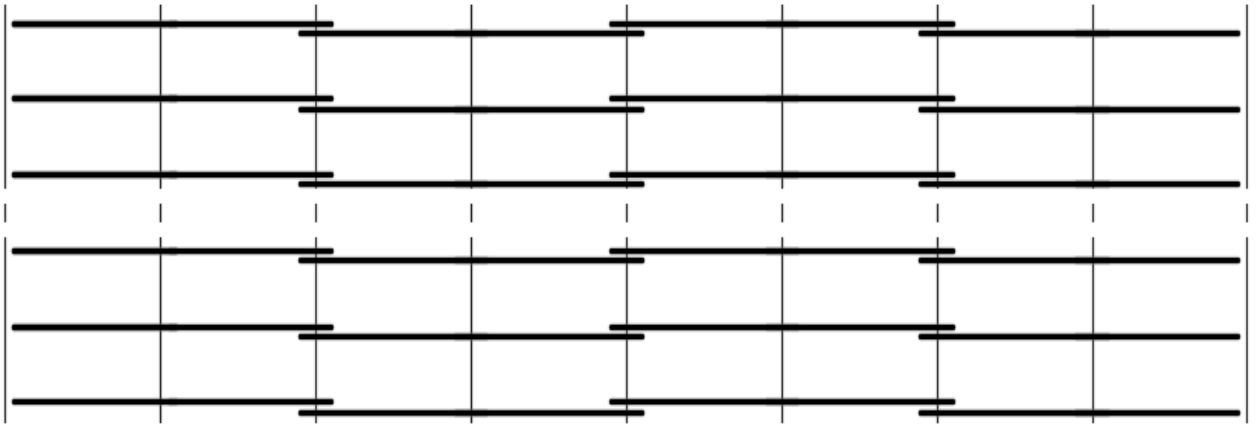


Рисунок 2.9 – Система двухпролетная с перехлестами

Для скатных крыш данные схемы раскладки прогонов выполняются с уклоном до $25^{\circ} \dots 30^{\circ}$ [68].

2.2.2 Программный комплекс CFSteel v3.1

Все расчеты выполнялись в программе расчёта элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнутох профилей CFSteel v3.1. Данная версия программы является из семейства программ CFSteel, где помимо расчетов элементов конструкций добавлены расчёты конструкций: балок и прогонов покрытия.

Расчёт прогонов выполняется в соответствии с положениями Раздела 10 EN 1993-1-3 [6]. Для расчёта прогонов предусмотрены разнообразные расчётные схемы: одно - и двухпролётные системы с перехлёстами прогонов на опорах и без перехлёстов. Закрепление нижних поясов прогонов из плоскости может отсутствовать или в зависимости от количества пролётов в прогоне достигать трёх закреплений на пролёт. Это позволяет моделировать в программе большинство систем прогонов, применяемых в практике строительства. Прогон могут выполняться из Z-образных, С-образных и Сигма-образных одиночных профилей. Нагрузка – равномерно-распределённая по всей длине прогона. В том числе предусмотрен вариант подъёмной нагрузки. Также предусмотрена

возможность появления осевой сжимающей силы в прогоне. Производятся расчёты прочности по нормальным напряжениям, устойчивости свободного пояса из плоскости прогона, несущей способности прогона на опоре, а также проверка прогибов прогона.

Во всех случаях полагается, что на верхний пояс опирается (и надёжно прикрепляется к нему) жёсткий горизонтальный диск из профилированного настила, который обеспечивает общую устойчивость балок и прогонов, а также воспринимает и передаёт на опоры скатную составляющую нагрузки (в случае с прогонами).

2.2.3 Методика расчетов, изложенная в руководстве пользователя CFSteel v 3.1 «Программа расчёта элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнутох профилей»

Ввод данных. Для расчёта прогонов покрытия, необходимо в главном меню программы выбрать пункт *Конструкция*, затем *Прогон*. Появляется окно расчёта прогонов покрытия, см. рисунок 2.10.

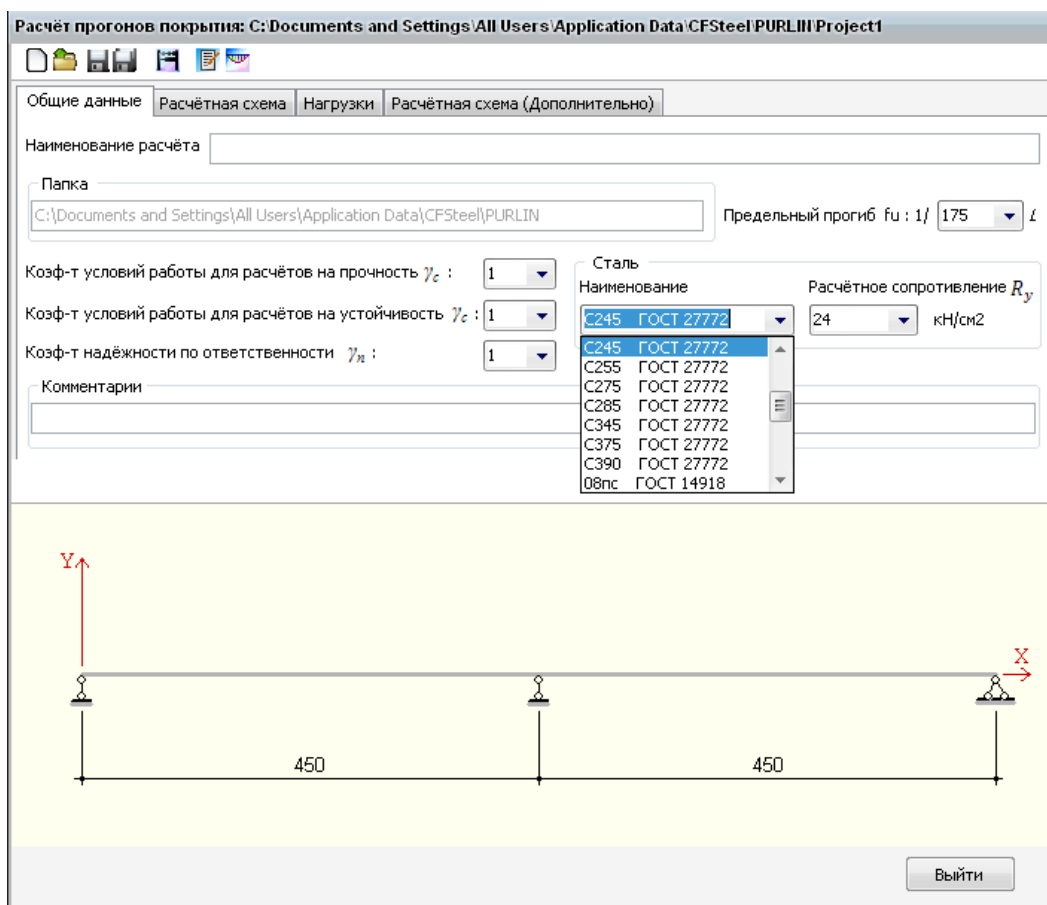


Рисунок 2.10 – Окно расчёта прогонов покрытия

Во вкладке *Общие данные* вводится: марка стали, расчетное сопротивление стали, предельный прогиб.

На вкладке *Расчётная схема* (рисунок 2.11) вводятся следующие данные:

Схема. Для расчёта прогонов покрытия реализованы расчётные схемы, приведённые на рисунке 2.11. Расчётные схемы с перехлёстами реализованы для прогонов с Z-образным сечением.

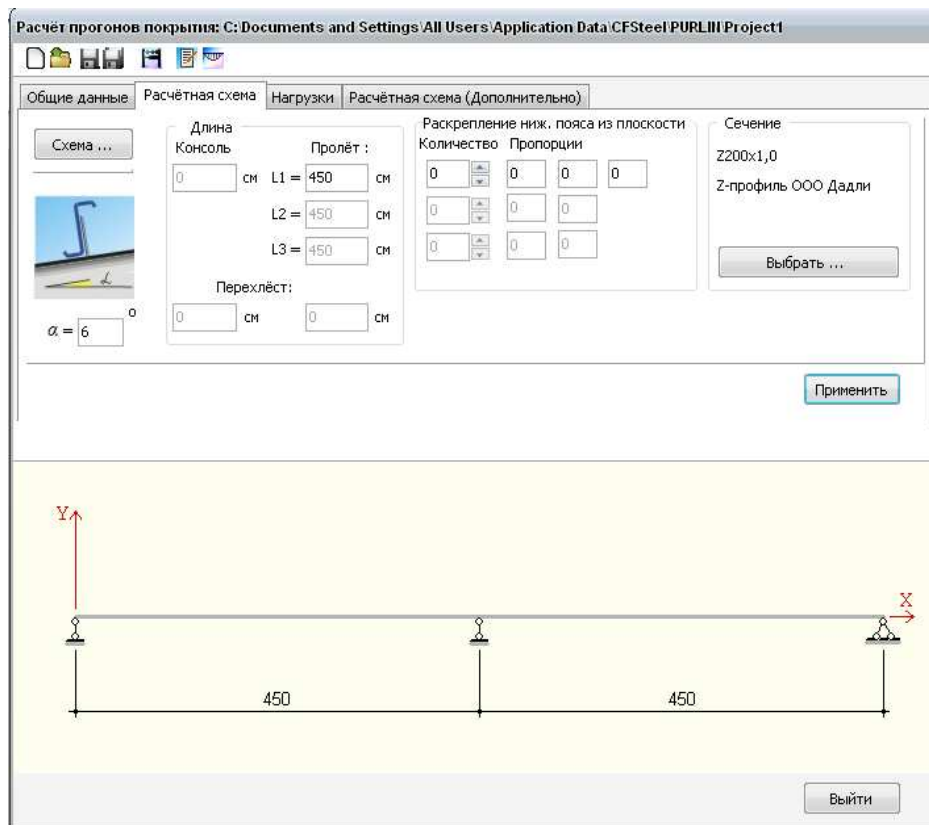


Рисунок 2.11 – Окно расчёта прогонов покрытия (вкладка Расчётная схема)

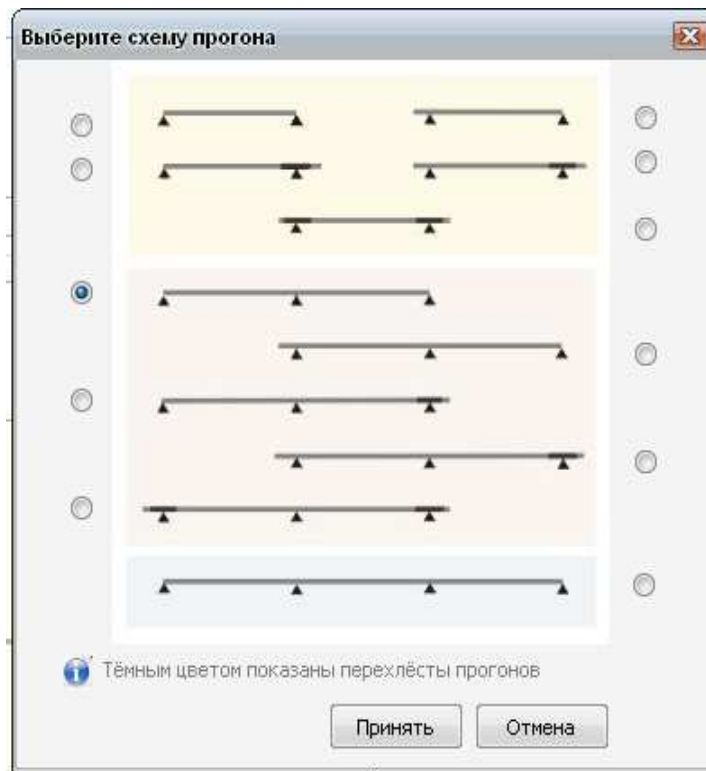


Рисунок 2.13 - Расчётные схемы прогонов покрытия

Длины пролётов в см (в двух- и трехпролетных прогонах пролёты должны быть одинаковые). Значения длин пролётов должны лежать в интервале от 2 до 20 м.

Длина консоли в см. Значение должно находиться в интервале от 30 см до 1/5 длины пролёта.

Закрепление из плоскости. На данной панели вводится количество закреплений нижнего свободного пояса из плоскости прогона. Для однопролётных прогонов предусмотрено до трёх закреплений включительно, которые автоматически располагаются регулярно. Для двух- и трёхпролётных прогонов предусмотрено максимум одно закрепление, которое располагается по середине каждого пролёта. Значение количества закреплений, равное нулю, означает отсутствие закреплений нижнего пояса прогона.

Сечение. Для прогонов покрытия предусмотрено три типа сечений: Z-, С- и Сигма-образный профили. Особенностью Z-образных профилей является возможность наличия поясов разной ширины. В предустановливаемых базах считается, что более широким является верхний пояс. Для того, чтобы пользователь имел возможность варьировать положением поясов (широкий пояс сверху или широкий пояс внизу) в окне ввода сечений предусмотрена панель Размеры поясов, на которой выбрав вариант *Наоборот*, можно поменять положение поясов на противоположное.

На вкладке *Нагрузки* (рисунок 2.14) вводятся:

Загружения: Порядковый номер *Загружения*; *Наименование Загружения* и *Тип нагрузки Загружения*. Номера *Загружений* должны следовать по порядку без пропуска номеров. Контроль за данным требованием возлагается на пользователя. Максимальное количество *Загружений* – 11. *Наименование Загружения* выбирается из уже имеющихся в выпадающем списке, или вводится пользователем в строку ввода по своему усмотрению. Тип нагрузки для каждого *Загружения* выбирается из списка: Постоянная, Длительная, Кратковременная или Особая. После ввода всех трёх перечисленных параметров *Загружения* необходимо нажать *Добавить* и данное *Загружение* отобразится в общем списке *Загружений*. Перемещаясь по списку, можно визуально проконтролировать нагрузки для каждого *Загружения*. Также имеется возможность *Исключить* какое-либо *Загружение* из списка.

Нагрузка. В каждом *Загружении* может быть одна *равномерно-распределённая* нагрузка. Ввод значений нагрузок производится по нажатию соответствующей кнопки *Добавить*, после чего появляется окно ввода значений нагрузок (рисунок 2.15).

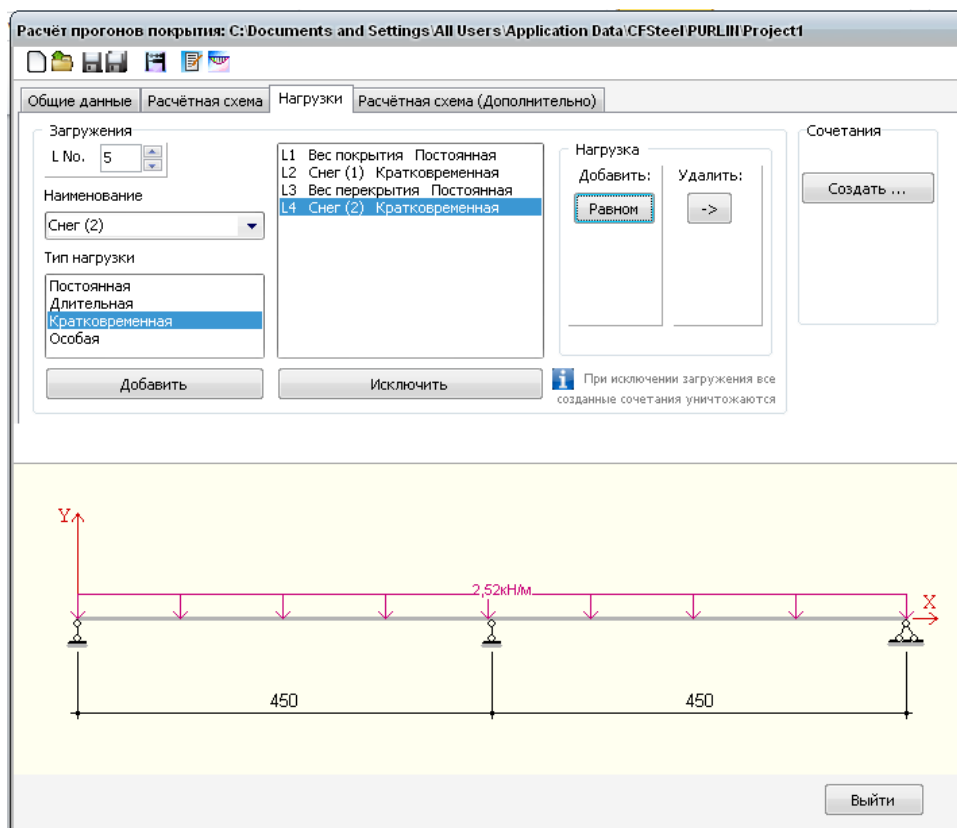


Рисунок 2.14 - Вкладка «Нагрузки»

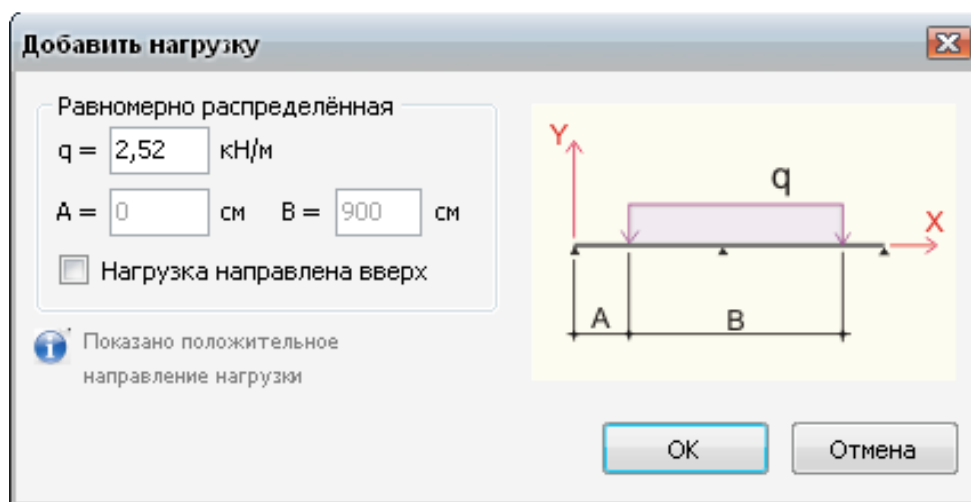


Рисунок 2.15 - Диалоговое окно «Добавить нагрузку»

Значение равномерно распределённой нагрузки вводится в поле ввода $q =$ в $кН/м$. Здесь же задаётся и подъемная нагрузка.

В программе предусмотрено приложение равномерно распределённой нагрузки по всей длине прогона. Поэтому поля ввода $A =$ и $B =$ являются неактивными. Если нагрузка направлена вверх (например, подъёмная ветровая нагрузка), необходимо установить метку в поле *Нагрузка направлена вверх*.

На вкладке *Нагрузки* имеется возможность *Удалить* нагрузку из текущего *Загружения*.

Расчёт прогонов покрытия производится на *Сочетания Загружений*. Максимальное количество *Сочетаний* - 11. Сочетания формируются пользователем самостоятельно. При этом необходимо помнить, что расчёты по первой и второй группам предельных состояний могут выполняться на разные *Сочетания Загружений*. Кроме того, значения нагрузок в *Загружениях*, из которых состоят *Сочетания* для первой и второй групп, как правило, различны. Поэтому при вводе *Загружений* целесообразно заранее предусмотреть отдельно *Загружения* для первой и второй групп предельных состояний. Кроме того, если планируется расчёт прогона на подъёмную нагрузку, рекомендуется предусмотреть *Загружение* с пониженной постоянной нагрузкой от веса кровли, а также *Загружение*, представляющее собой подъёмную ветровую нагрузку.

Формирование *Сочетаний* производится по кнопке *Сочетания Создать ...* на вкладке *Нагрузки*. После чего появляется окно *Сочетания загружений*, в котором уже имеется список сформированных *Загружений* (рисунок 2.16).

Необходимо отметить, какое сочетание относится к расчёту по первой группе предельных состояний, а какое к расчёту по второй группе (по прогибам).

При расчёте прогонов покрытия предусмотрена возможность учёта осевых сжимающих сил, возникающих, например, от ветра в торец здания. Для этого на панели *Осевые силы* (см. рисунок 2.16) необходимо для соответствующего *Сочетания* ввести ненулевые значения усилий (в kH) для каждого пролёта прогона.

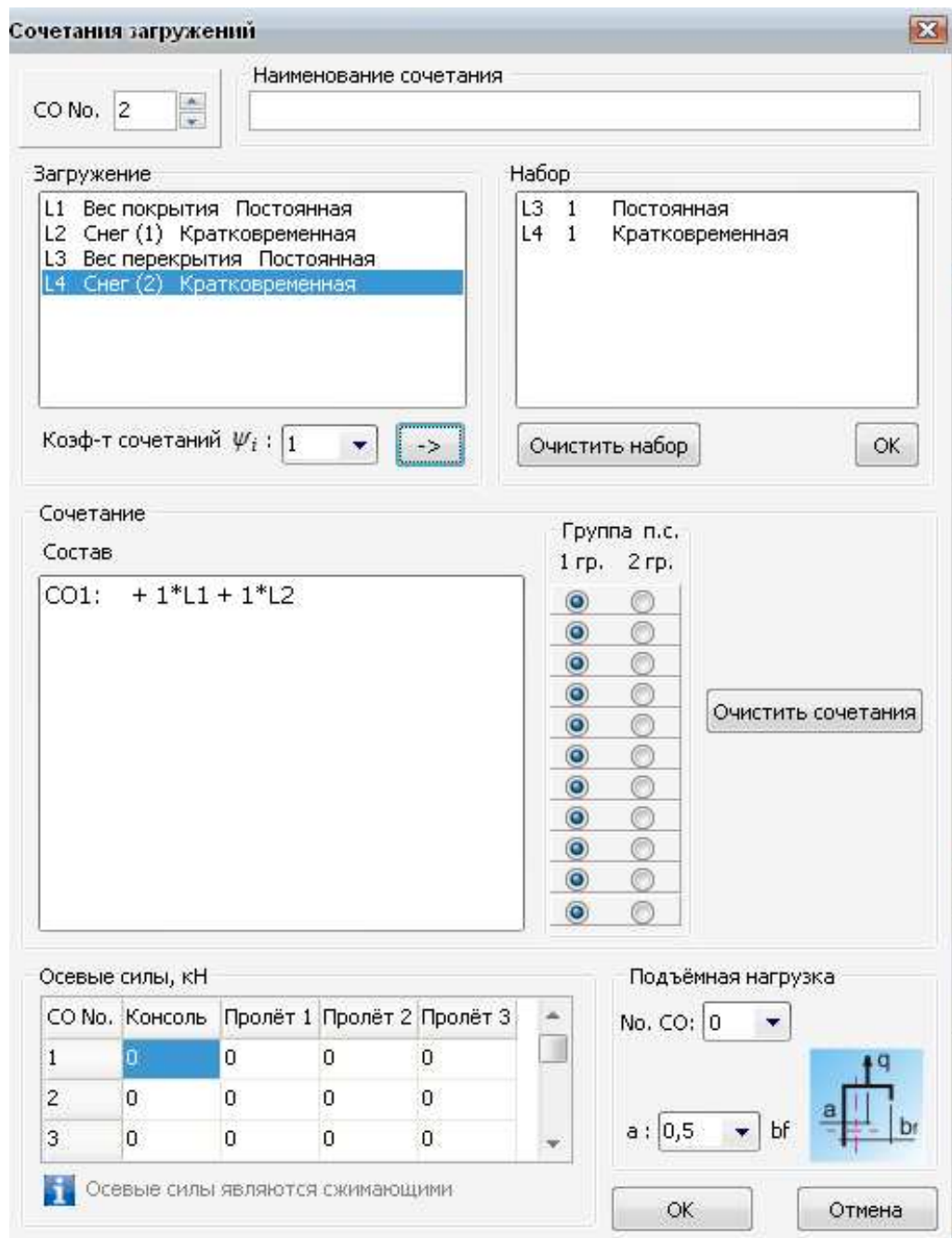


Рисунок 2.16 - Диалоговое окно формирования *Сочетаний Загрузений*

На панели *Подъёмная нагрузка* вводится номер *Сочетания* с подъёмной ветровой нагрузкой. Если таких *Сочетаний* нет, в выпадающем списке выбирается ноль. В текущем *Глава 3 CFSteel v.3.1* расчёте прогона может быть только одно *Сочетание* с подъёмной нагрузкой. В его составе должно быть два *Загружения*: собственный вес кровли (как минимум, вес прогона и вес профилированного настила) и подъёмная ветровая нагрузка. Подъёмная ветровая нагрузка должна быть больше веса кровли. Иначе при запуске программы на счёт будет выведено сообщение о невыполнении данного условия. При появлении

такого сообщения пользователь должен либо откорректировать нагрузки, либо выбрать «0» в окне ввода номера подъёмной нагрузки отказавшись таким образом от наличия Сочетания с подъёмной нагрузкой. Здесь же вводится расстояние a от метиза крепления настила к прогону до стенки прогона. Расстояние вводится в долях от ширины пояса прогона и может варьироваться в интервале $0 < a < 1$.

На рисунке 2.17 представлена вкладка *Расчётная схема (Дополнительно)*.

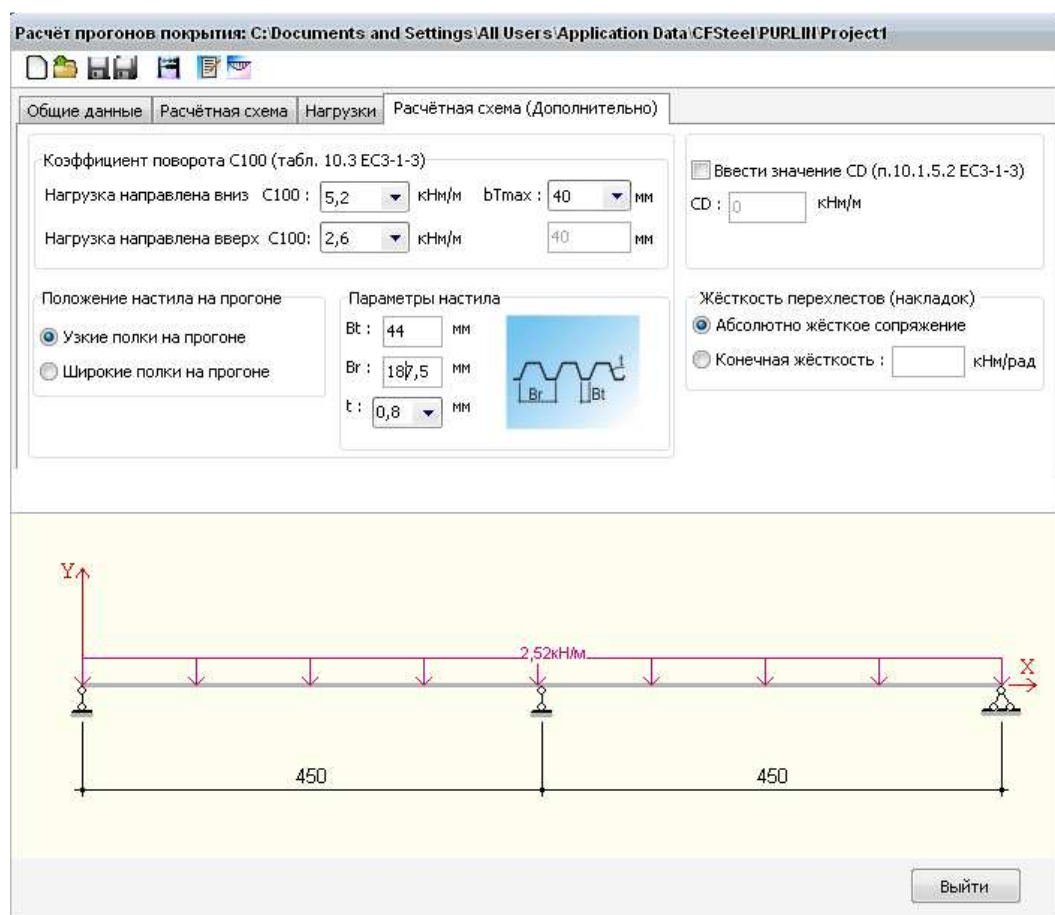



Рисунок 2.17 - Вкладка «*Расчётная схема (Дополнительно)*»

На панели *Кoeffициент поворота C100*, *Положение настила на прогоне* и *Параметры настила* вводятся данные, необходимые для вычисления жёсткости угловой связи в *кНм/м*.

Также по умолчанию в программе принято, что сопряжение прогонов в местах перехлёста на опорах являются абсолютно жёсткими на поворот. Это показано на панели *Жёсткость перехлёстов* на рисунке 2.17. Однако имеется возможность учёта конечной упругой жёсткости перехлёстов на поворот в плоскости стенки

прогона. Для ввода необходимо отметить «Конечная жёсткость» и ввести её значение в кНм/рад .

Далее на панели *Расчет прогонов покрытия* нажать на кнопку  - *Выполнить расчёт*, затем *Показать результаты расчёта*.

Расчёт прогонов по несущей способности и по эксплуатационной пригодности выполняется по 10 EN 1993-1-3 [6]. Учитывается гравитационная нагрузка и возможность возникновения подъёмной нагрузки от ветра.

Посмотреть отчёт о выполненных расчётах можно щёлкнув на кнопке *Показать результаты расчёта* на панели инструментов. После чего на экране появляется информационное окно с пятью вкладками, на которых показываются: введённые пользователем исходные данные (вкладка *Общие данные*), параметрический чертёж сечения с геометрическими характеристиками полного сечения (вкладка *Сечение*), информация о нагрузках (вкладка *Нагрузки*), результаты проверочных расчётов (вкладка *Проверки*) и эпюры (вкладка *Эпюры*).

На рисунке 2.18 показано окно *Результаты расчёта* с активной вкладкой *Общие данные*. На рисунке 2.19. показано окно *Результаты расчёта* с активной вкладкой *Сечение*. На рисунке 2.20 показано начало вкладки *Нагрузки* окна *Результаты расчёта*, На рисунке 2.21 показано окно *Результаты расчёта* с активной вкладкой *Проверки* для *Сочетания №1*. На рисунке 2.22 показано окно *Результаты расчёта* с активной вкладкой *Эпюры* для *Сочетания № 1*. (верхняя часть). Данная вкладка предназначена для формирования списка эпюр, которые будут переданы в Excel. В левой части окна следует выбрать необходимые эпюры и нажать *Обновить*. Чтобы изменить состав эпюр, необходимо нажать *Очистить* и набрать новый состав.

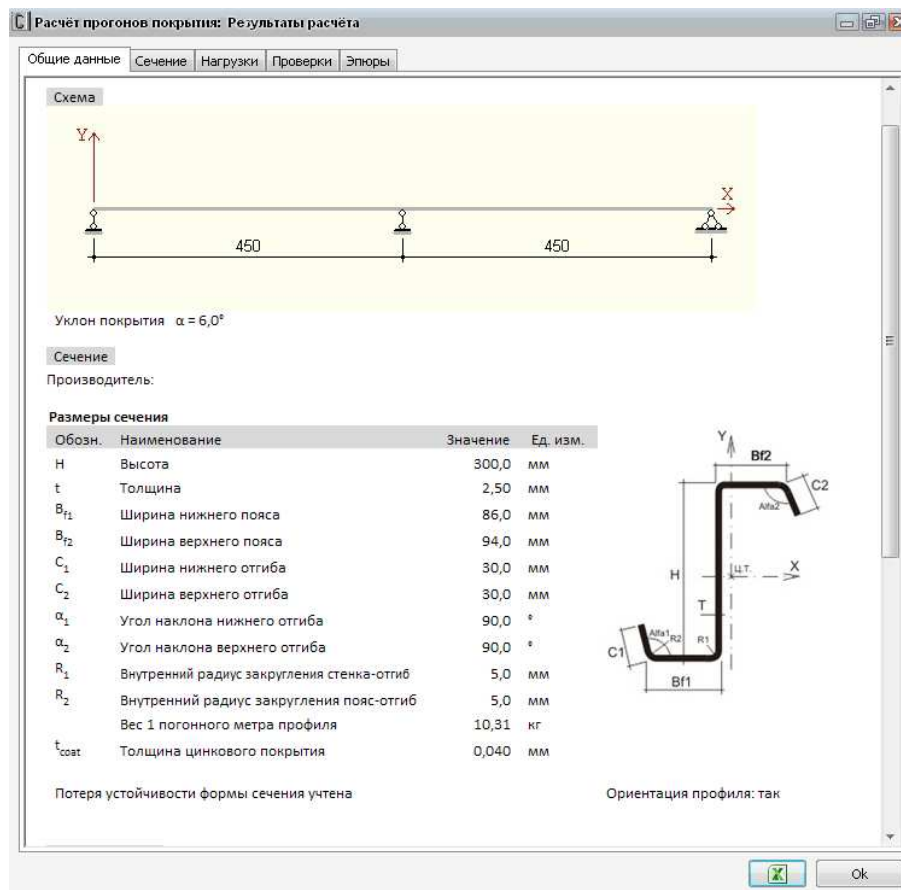


Рисунок 2.18 - Вкладка «Общие данные» окна *Результатов расчёта*

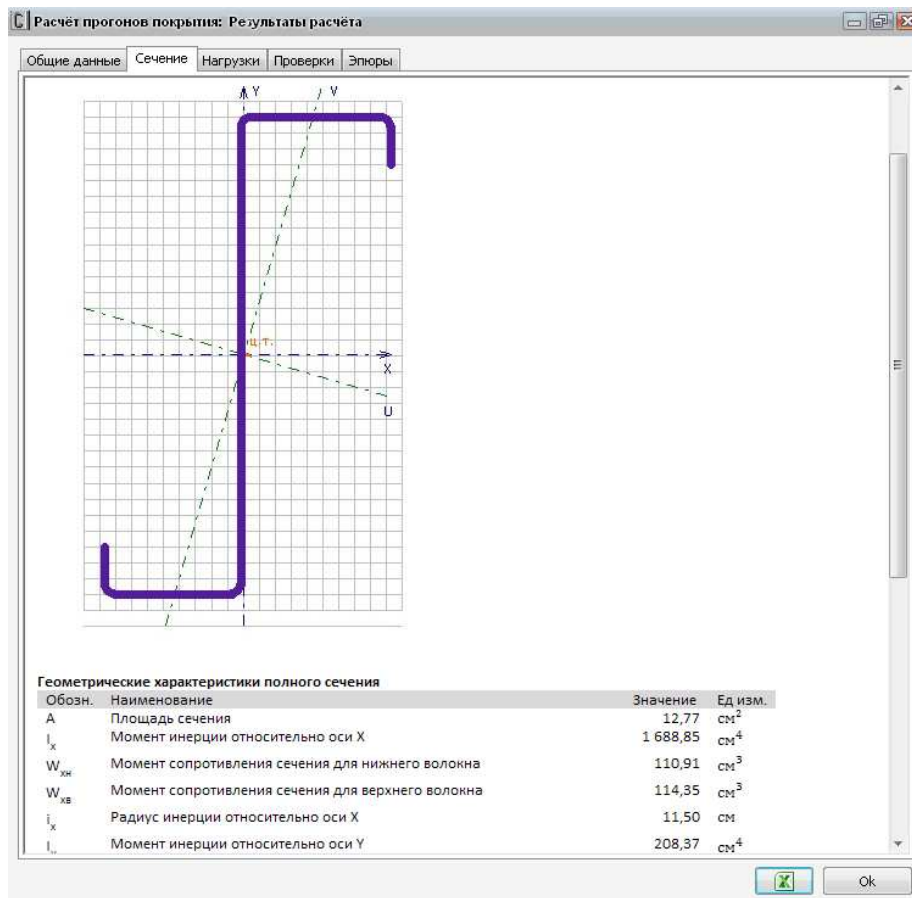


Рисунок 2.19 – Вкладка «Сечение» окна *Результатов расчёта*

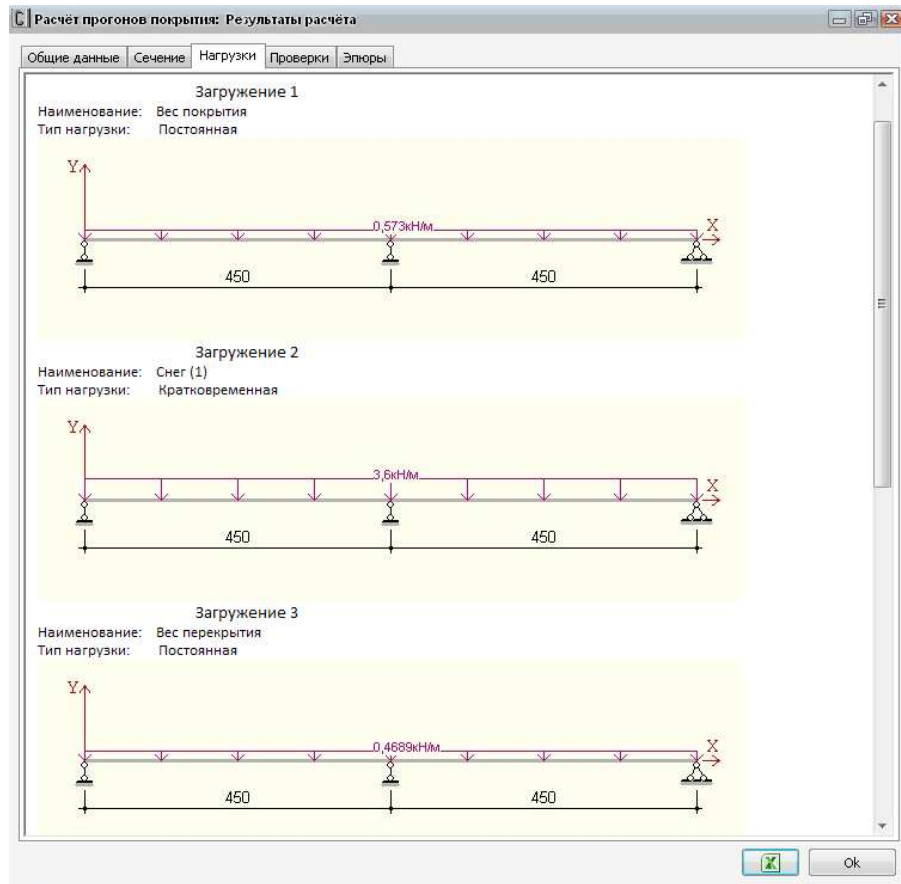


Рисунок 2.20 - Вкладка «Сечение» окна *Результатов расчёта* (начало)

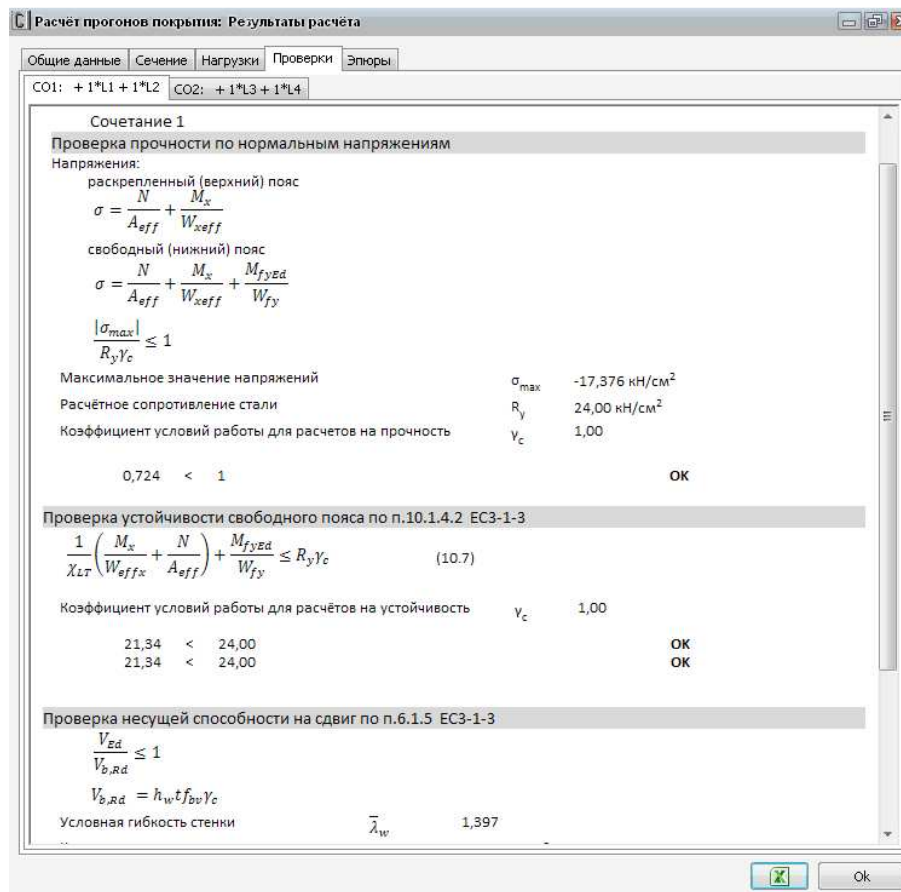


Рисунок 2.21 – Вкладка «Проверки» окна *Результаты расчёта*

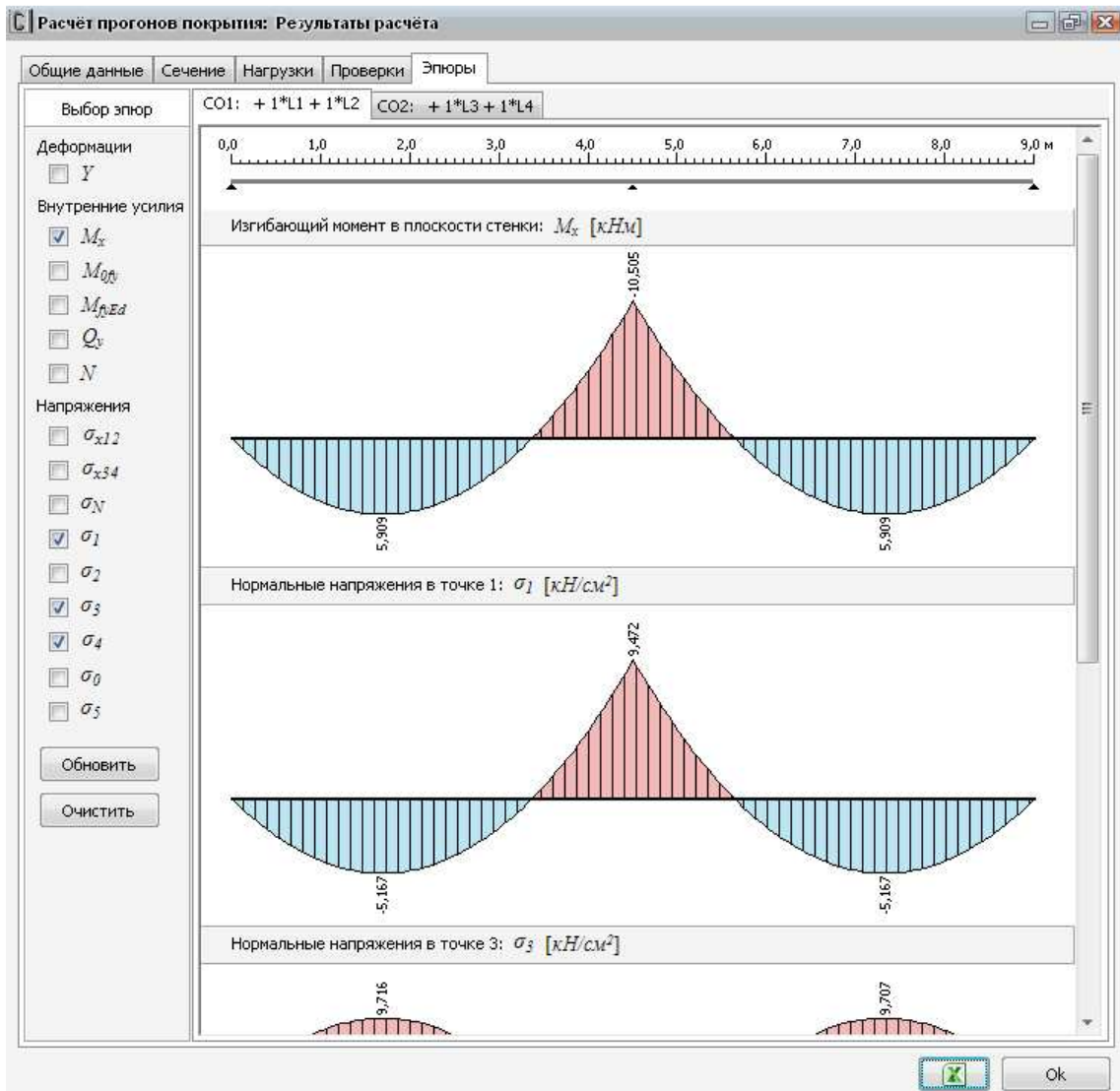



Рисунок 2.22 - Вкладка «Эпюры» окна *Результаты расчёта* (верхняя часть)

В нижней части окна *Результаты расчёта* имеется кнопка  , при нажатии которой, данные, выводимые в окне *Результаты расчёта*, передаются в Excel и происходит его запуск. Структура книги Excel схожа со структурой окна *Результаты расчёта*.

2.3 Расчеты прогонов из Z –образных профилей

Из систем раскладки прогонов, изложенные в пункте 2.2.1 видно, что в основном они состоят из комбинаций однопролетной и двухпролетной схем с накладками или перехлестами и без них. Поэтому целесообразно рассчитать 4 вида схем раскладки прогонов: 1)однопролетная схема, 2)однопролетная схема с перехлестами, 3)двухпролетная схема, 4) двухпролетная схема с перехлестами.

Все расчеты выполнены с помощью специализированной программы расчета элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей CFSteel v3.1 [69], в которой расчёт прогонов выполняется в соответствии с положениями Раздела 10 EN 1993-1-3 [6]. Учитывались гравитационная нагрузка и постоянная нагрузка от отсоса ветра (III – ветровой район) [70], снеговая нагрузка для прогонов 240кг/м² (IV – снеговой район), в соответствии с [70].

В результате расчетов были подобраны сечения профилей прогонов Z-образного сечения, для кровли без связей и со связями: 1, 2 и 3 связи. В таблицах в п. 4.2-4.3 показаны результаты полученных профилей и их запас несущей способности при прохождении проверок по I и II группе предельных состояний.

Сбор нагрузок представлен в таблице 2.2.

2.3.1 Сбор нагрузок

2.3.1.1 Сбор гравитационной нагрузки

Временные и постоянные нагрузки:

1.ПВХ мембрана: $P=0.015\text{кН/м}^2$.

2.Техноруф В60: $\rho=180\text{кг/м}^3$, $t=40\text{мм}$, $P=0.072\text{кН/м}^2$.

3. Техноруф Н30: $\rho=115\text{кг/м}^3$, $t=110\text{мм}$, $P=0.1265\text{кН/м}^2$.

4. Пароизоляционная плёнка ТУВЕК: $P=108\text{г/м}^2=0.0108\text{кН/м}^2$,

5. Профилированный лист Н57-750-0.8, вес $1\text{м}^2=0.098\text{кН/м}^2$.

Общие данные:

1. В расчёт в качестве примера был принят сортамент Z-образных профилей в соответствии СТО 001-79850813-2015 [71].

2. Уклон кровли принимаем: $6^\circ, 15^\circ, 25^\circ$.

3. Пролет $L=4,5$ м, шаг прогонов $1,5$ м.

Таблица 2.2 - Сбор гравитационной нагрузки

| Наименование нагрузки | Нормативная нагрузка $F_n, \text{кН/м}^2$ | γ_f | Расчетная нагрузка $F, \text{кН/м}^2$ |
|--|---|------------|---------------------------------------|
| 1. ПВХ мембрана | 0,015 | 1,3 | 0,0195 |
| 2, Технориф В60 $\rho=180\text{кг/м}^3$ $t=40\text{мм}$ | 0,072 | 1,3 | 0,0936 |
| 3. Технориф Н30 $\rho=115\text{кг/м}^3$ $t=110\text{мм}$ | 0,1265 | 1,3 | 0,16445 |
| 4. Пароизоляционная плёнка ТУВЕК | 0,00108 | 1,3 | 0,0014 |
| 5. Профлист Н57-750-0,8 | 0,098 | 1,05 | 0,1029 |
| | $\Sigma 0,3126$ | - | 0,38185 |
| Снег | 1,68 | 1,4 | 2,4 |

Нормативная нагрузка: $q_n = 0.3126 \cdot 1.5 = 0.4689$ кН/м.

Нормативная снеговая нагрузка: $q_1 = 1,68 \cdot 1,5 = 2,52$ кН/м.

Расчетная нагрузка: $q_p = 0.38185 \cdot 1.5 \text{ м} = 0,573$ кН/м

Расчетная снеговая нагрузка $2,4 \cdot 1,5 \text{ м} = 3,6$ кН/м

2.3.1.2 Сбор подъемной (ветровой) нагрузки.

Проверка прогонов на ветровую нагрузку, в момент монтажа конструкции.

Ветровой район Барнаула – III (принимается по карте 3 Приложения Ж [70])

Временные и постоянные нагрузки:

1) Металлический профиль прогона, соответствующий расчетам, с шагом 1,5м, уклоном кровли $6^\circ, 15^\circ, 25^\circ$.

2) Профилированный лист Н57-750-0.8, вес $1\text{м}^2=0.098\text{кН/м}^2$.

При кровле с уклоном меньше 20° нагрузка от ветра (отсос) действует снизу-вверх и разгружает прогоны. В этом случае нужно проверить прогон на возможность отрыва от несущих конструкций.

Воздействие ветра.

1) Исходные данные:

1. $h = 8$ - высота здания, м

2. $d = 18$ - ширина по характерному поперечному разрезу, м

3. $b = 36$ - длина здания по характерному поперечному разрезу, м

4. $z = 8$ - расчетная высота (высота от поверхности земли), м

5. ветровой район – III, согласно карте 3 Приложения Ж [70].

6. тип местности В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м.

7. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,38$ кПа, принимается по таблице 11.1 [70].

2) Определение эквивалентной высоты z_e

Исходные данные:

$z = 8\text{м}$ - высота от поверхности земли;

$d = 18\text{м}$ - размер здания (без учета его стилобатной части) в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер);

$h = 8\text{м}$ - высота здания.

Для зданий: при $h \leq d \Rightarrow z_e = h$; $8 \leq 18$ - условие выполняется.

Окончательно принимаем: $z_e = 8\text{м}$.

3) Расчет коэффициента, учитывающего изменение ветрового давления.

Исходные данные:

В - тип местности;

$z_e = 8$ м - эквивалентная высота;

Коэффициент $k(z_e)$ определяется по таблице 11.2 [70].

По таблице 11.2 $k(z_e) = 0,59$.

4) Нахождение c - аэродинамического коэффициента.

Аэродинамический коэффициент находится по Таблице Д.3а и Таблице Д.3б Приложения Д [70]. При приложении направления ветра к длинной стороне здания для подветренной стороны коэффициенты - c будут равняться:

А) при уклоне кровли 6° : на участке I, $c = -0,4$, на участке J, $c = -1,0$.

Б) при уклоне кровли 15° : на участке I, $c = -0,4$, на участке J, $c = -1,0$.

В) при уклоне кровли 25° : на участке I, $c = -0,4$, на участке J, $c = -0,667$.

5) Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по [70] формуле 1 :

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c, \quad (1)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления; $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e ; c – аэродинамический коэффициент.

б) Расчет коэффициента пульсации давления ветра $\zeta(z_e)$.

Исходные данные:

В - тип местности;

$z_e = 8$ м - эквивалентная высота;

$\zeta(z_e)$ - коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 или формуле (11.6) по [70] для эквивалентной высоты z_e (см. п.2);

$\zeta(z_e) = 1,124$;

7) Нахождение коэффициента пространственной корреляции пульсаций давления v .

Так как у нас расчетная поверхность близка к прямоугольнику, то коэффициент v следует определять по таблице 11.6 по [70] в зависимости от параметров ρ и χ , принимаемых по таблице 11.7 по [70].

$\rho = 36$ м; $\chi = 18$ м; $v = 0,716$.

8) Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p на эквивалентной высоте z_e следует определять по формуле 2 по [70]:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \quad (2)$$

где w_m – определяется в соответствии с (см. п.5) ; $\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по (см. п.6); v – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра (см. п. 7).

9) Нормативное значение ветровой нагрузки w следует определять как сумму средней w_m (см. п.5) и пульсационной w_p (см. п.8)составляющих:

$$w = w_m + w_p. \quad (3)$$

Таблица 2.3 - Сбор подъёмной (ветровой) нагрузки

| Наименование нагрузки | Нормативная нагрузка $F_n, \text{кН/м}^2$ | γ_f | Расчетная нагрузка $F, \text{кН/м}^2$ |
|----------------------------------|--|------------|--|
| 1. Профлист Н57-750-0,8 | 0,098 | 1,05 | 0,1029 |
| 2. Металлический профиль | х | 1,05 | х |
| Итого: | у | - | у |
| 3. Ветер с подветренной стороны: | | | |
| - уклон 6° участок I | 0,160 | 1,4 | 0,224 |
| участок J | 0,40 | | 0,560 |
| - уклон 15° участок I | 0,160 | 1,4 | 0,224 |
| участок J | 0,40 | | 0,560 |
| - уклон 25° участок I | 0,160 | 1,4 | 0,224 |
| участок J | 0,27 | | 0,378 |

х – нормативное и расчетное значение нагрузки металлического профиля, соответственно, полученного при расчете прогонов, длиной 4,5 м.

у – нормативное и расчетное значение постоянной нагрузки.

γ_f – коэффициент надёжности по нагрузке, взятый в соответствии с п.11.1.12 [70].

2.3.2 Расчет для прогонов из стали С245

Все расчеты выполнены с помощью специализированной программы расчета элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей CFSteel версии 3.1 [72], в которой расчёт прогонов выполняется в соответствии с положениями Раздела 10 EN 1993-1-3 [6]. Учитывались гравитационная нагрузка и постоянная нагрузка от отсоса ветра (III – ветровой район) [70]. Расчетное сопротивление стали равно 240МПа по таблице В5 [73].

В результате расчетов были подобраны сечения профилей прогонов Z-образного сечения, для кровли без связей и со связями: 1, 2 и 3 связи. В таблице 2.4 показаны результаты для однопролетной схемы и их запас несущей способности при прохождении проверок по I и II группе предельных состояний.

Таблица 2.4 – Профили однопролетной схемы и их запас несущей способности

| Уклон, град. | Связи, шт. | Гравитационная нагрузка | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|--------------|------------|-------------------------|----------------|---|---|----------------------|---|---|---|
| | | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 2,96 | 84,26 | 58,1875 | 91,5 | 88,9566 | 98,5 |
| | 1 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 12,61 | 84,24 | 71,9565 | 93,8 | 92,3479 | 98,5 |
| | 2 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 3,54 | 84,3 | 47,4913 | 90,8 | 89,6957 | 98,4 |
| | 3 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 1,77 | 84,3 | 47,7913 | 90,8 | 90,4783 | 98,4 |
| 15 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 5,76 | 84,72 | 59,3933 | 90,8 | 90,4783 | 98,4 |
| | 1 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 15,12 | 84,69 | 72,7344 | 93,8 | 92,3478 | 98,5 |
| | 2 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 2,66 | 76,42 | 49,7083 | 90,3 | 89,0417 | 97,6 |
| | 3 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 0,69 | 76,42 | 49,7083 | 90,3 | 89,875 | 97,6 |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 11,57 | 85,67 | 61,9215 | 91,9 | 89,3333 | 98,5 |
| | 1 | Z250, t = 2мм | 6,69 | 3,79 | 76,83 | 67,9503 | 92,4 | 90,5 | 97,5 |
| | 2 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 8,79 | 77,88 | 52,82 | 90,3 | 89,0833 | 97,6 |
| | 3 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 6,94 | 77,88 | 52,82 | 90,3 | 89,9166 | 97,6 |

Аналогично расчёту однопролетной схемы были рассчитаны: однопролетная схема с перехлёстами, двухпролетная схем и двухпролетная схема с перехлёстами. Данные представлены в таблицах (2.5-2.7).

Таблица 2.5 – Профили однопролетной схемы с перехлёстами и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 44,86 | 11,2248 | 92,12 | 95,3326 | 95,9 | 97,33 | 98,7 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 33,57 | 5,3455 | 78,19 | 89,1482 | 94,1 | 96 | 97,8 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 34,04 | 14,013 | 78,23 | 86,0755 | 93,4 | 95,62 | 97,8 |
| | 3 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 24,16 | 3,9255 | 78,29 | 86,0755 | 92,2 | 95,25 | 97,8 |
| 15 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 46,45 | 13,7774 | 86,22 | 95,4493 | 95,7 | 97,21 | 98,6 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 64,52 | 8,0671 | 78,81 | 89,4594 | 93,8 | 95,86 | 97,8 |
| | 2 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 24,64 | 1,9525 | 78,81 | 82,1082 | 91,9 | 94,69 | 97,8 |
| | 3 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 73,66 | 6,688 | 78,81 | 82,1082 | 95,2 | 96,6 | 98,6 |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 38,57 | 5,5096 | 78,81 | 93,6212 | 93,2 | 95,34 | 97,8 |
| | 1 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 29,42 | 1,0196 | 80,16 | 87,2813 | 93,2 | 95,34 | 97,8 |
| | 2 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 29,29 | 8,0038 | 80,21 | 83,2361 | 92,2 | 94,9 | 97,8 |
| | 3 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 30,88 | 12,4471 | 80,21 | 83,2361 | 92,2 | 94,9 | 97,8 |

Таблица 2.6 – Профили двухпролетной схемы и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z300, t = 2,5мм | 10,31 | 24,46 | 7,3957 | 80,25 | 93,5434 | 95,1 | 97 | 98,2 |
| | 1 | Z250, t = 2мм | 6,69 | 15,03 | 5,0875 | 68,22 | 85,3753 | 93,6 | 95,9 | 98,7 |
| 15 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 22,22 | 2,8214 | 68,79 | 90,5873 | 93,6 | 95,9 | 98,7 |
| | 1 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 11,38 | 1,3214 | 80,9 | 83,1195 | 91,6 | 94,04 | 98,1 |
| 25 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 27,02 | 8,8196 | 87,61 | 91,1707 | 93,9 | 96,12 | 98,8 |
| | 1 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 16,85 | 7,4118 | 82,08 | 84,1695 | 92 | 94 | 98,1 |

Таблица 2.7 – Профили двухпролетной схемы с перехлёстами и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 30,71 | 5,5146 | 89,37 | 95,7605 | 95,3 | 97,47 | 99 |
| | 1 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 22,82 | 8,9459 | 77,61 | 90,5485 | 93 | 96,13 | 97,6 |
| 15 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 32,71 | 8,2335 | 89,67 | 95,8771 | 95,4 | 97,52 | 99 |
| | 1 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 25,04 | 7,7192 | 78,25 | 90,8207 | 93 | 96,13 | 97,6 |
| 25 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 36,86 | 13,8974 | 90,31 | 96,1105 | 95,5 | 97,56 | 99 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 18,81 | 1,674 | 78,41 | 89,187 | 92,1 | 95,74 | 97,6 |

По данным таблиц: 2.4 – 2.7 были построены графики зависимости массы 1 м.п. профиля от количества связей в схемах раскладки прогонов. Данные графики представлены на рисунке 2.23.

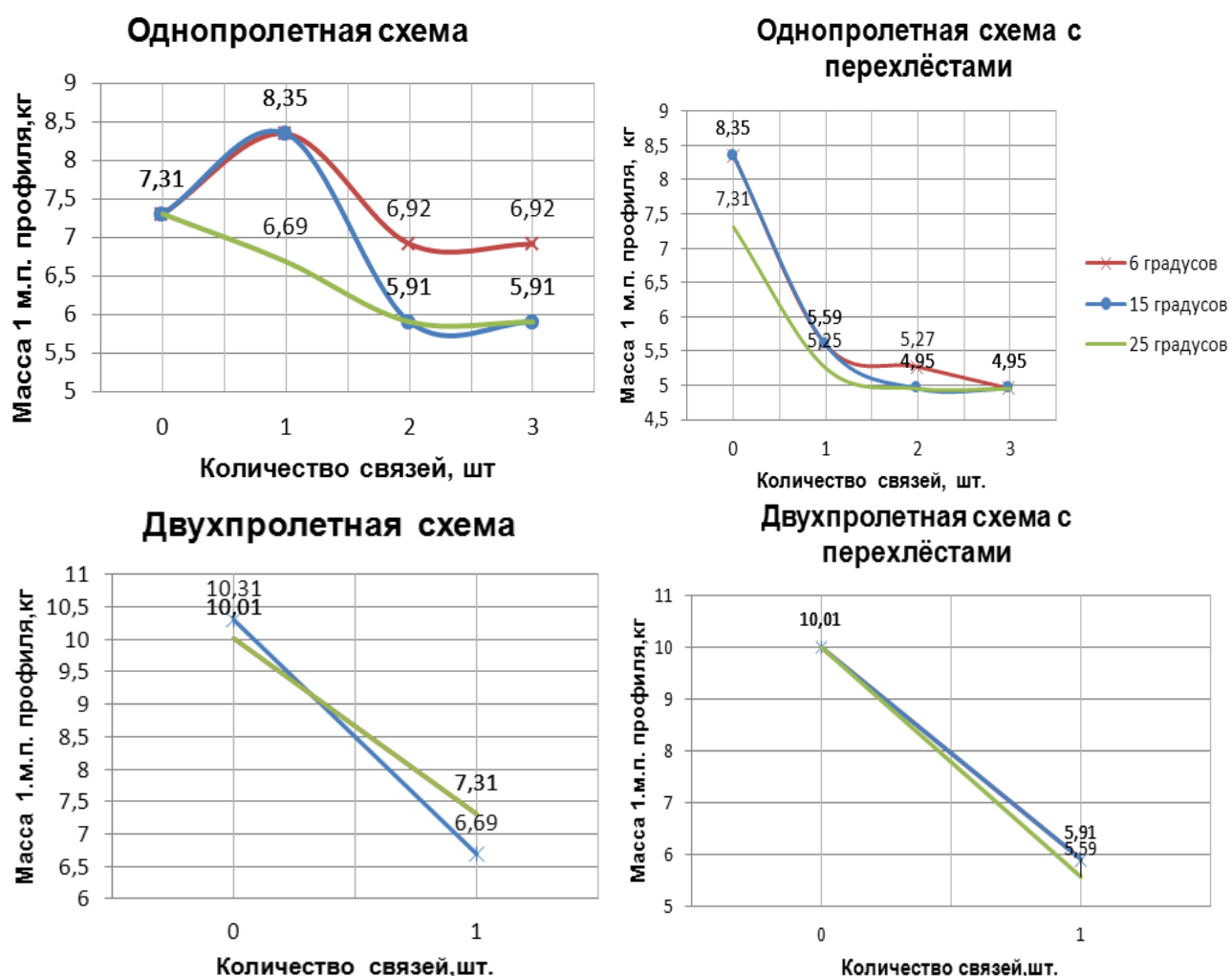


Рисунок 2.23 - Графики зависимости массы 1 м.п. профиля от количества связей для схем раскладки прогонов. Сталь марки С245.

По графику для однопролетной схемы, см. рисунок 2.23, видно, что добавление третьей связи никак не влияет на вес 1 п/м профиля, поэтому экономичнее применять 2 связи. Самые выгодные варианты при уклоне 15° и 25° с двумя связями, самые не выгодные – с одной связью при уклоне 6° и 15°.

По графику для однопролетной схемы с перехлёстами, см. рисунок 2.23, можно сказать, что при добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 п/м уменьшается от 23 до 35%. Худшим вариантом являются схемы без связи с уклоном 6°, 15°, 25°. Разница в массе 1 м/п

профиля при добавлении 1, 2 или 3 связей небольшая во всех трех случаях, поэтому по металлоёмкости выгоднее на 6 % схема с одной связью с уклоном 25° и по трудозатратам, чем схемы с 2-мя и 3-мя связями.

По графику для двухпролетной схемы, см. рисунок 2.23, можно сказать, что двухпролетная схема не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 п/м уменьшается на 36%. Самой выгодной схемой является схема с 1 связью при уклоне 25°.

По графику для двухпролетной схемы с перехлёстами, см. рисунок 2.23, видно, что двухпролетная схема с перехлёстами не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 п/м уменьшается на 44%.

2.3.3 Расчет для прогонов из стали С350

Аналогично пункту 2.3.2 данной работы расчет был выполнен из профилей марки стали С350. В таблице 2.8-2.11 показаны результаты схем и их запас несущей способности.

Таблица 2.8 – Профили однопролетной схемы и их запас несущей способности

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Гравитационная нагрузка | | | Подъёмная нагрузка | | |
|--------------|------------|-----------------|----------------|---|---|----------------------|---|---|---|
| | | | | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 4,7 | 79,4 | 27,143 | 91,6 | 88,03 | 97,9 |
| | 1 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 12,4 | 86,9 | 49,028 | 93,5 | 91,09 | 98,7 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2,9 | 79,4 | 6,46 | 90,8 | 89,121 | 98 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 1,3 | 79,4 | 6,46 | 90,6 | 89,878 | 97,9 |
| 15 | 0 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 1,3 | 80 | 29,238 | 91,7 | 88,06 | 97,9 |
| | 1 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 6,8 | 78,4 | 43,25 | 92,7 | 90,03 | 97,8 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 5,7 | 80 | 9,179 | 90,6 | 88,818 | 97,9 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 4,2 | 80 | 9,179 | 90,6 | 88,818 | 97,9 |
| 25 | 0 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2,8 | 81,2 | 14,786 | 90,6 | 88,818 | 97,9 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 0,6 | 81,2 | 33,604 | 91,8 | 88,848 | 97,9 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 11,7 | 81,2 | 14,786 | 91,8 | 88,848 | 97,9 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 10,3 | 81,2 | 14,786 | 91,8 | 89,909 | 97,9 |

Таблица 2.9 – Профили однопролетной схемы с перехлёстами и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 32,3 | 3,472 | 88,3 | 83,272 | 95,1 | 96,484 | 98,8 |
| | 1 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 33,4 | 5,169 | 81,5 | 79,342 | 94,2 | 96,09 | 98,1 |
| | 2 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 32,3 | 9,942 | 81,6 | 71,758 | 93,2 | 95,363 | 98,1 |
| | 3 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 34 | 15,645 | 81,6 | 71,758 | 93,2 | 95,727 | 98,1 |
| 15 | 0 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 34,3 | 6,542 | 88,6 | 83,754 | 95,1 | 96,484 | 98,8 |
| | 1 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 35,3 | 7,887 | 82,1 | 79,937 | 94,2 | 97 | 98,1 |
| | 2 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 34,3 | 9,548 | 82,1 | 72,571 | 93,2 | 95,363 | 98,1 |
| | 3 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 35,9 | 18,118 | 82,1 | 72,571 | 93,2 | 95,363 | 98,1 |
| 25 | 0 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 29 | 3,236 | 88,2 | 79,132 | 94,3 | 96 | 98,7 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 10,8 | 17,93 | 88,2 | 79,132 | 94,5 | 96,363 | 98,7 |
| | 2 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 38,2 | 18,063 | 83,2 | 74,264 | 93,2 | 95,393 | 98,9 |
| | 3 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 38,2 | 23,26 | 83,2 | 74,264 | 93,2 | 95,393 | 98,9 |

Таблица 2.10 – Профили двухпролетной схемы и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 32,4 | 11,951 | 83,6 | 86,922 | 94,4 | 96,151 | 98,4 |
| | 1 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 15 | 4,093 | 83,7 | 68,536 | 92,3 | 94,151 | 98,4 |
| 15 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 20,5 | 0,793 | 84,1 | 81,058 | 93,4 | 94,151 | 98,4 |
| | 1 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 17,4 | 6,851 | 84,2 | 69,443 | 93,4 | 94,151 | 98,4 |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 25,4 | 6,918 | 85,1 | 81,657 | 93,4 | 94,151 | 98,4 |
| | 1 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 22,5 | 12,6 | 85,1 | 71,33 | 92,3 | 94,181 | 98,4 |

Таблица 2.11 – Профили двухпролетной схемы с перехлёстами и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 42,4 | 16,724 | 87,2 | 94,249 | 96 | 97,727 | 98,8 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 12,2 | 1,784 | 86 | 74,976 | 93 | 96,151 | 98,6 |
| 15 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 44,1 | 19,118 | 87,6 | 94,412 | 96 | 97,727 | 98,8 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 14,7 | 4,663 | 86,4 | 75,696 | 93 | 96,151 | 98,6 |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 31,3 | 4,669 | 88,3 | 92,182 | 95,3 | 94,278 | 98,7 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 20 | 10,545 | 87,2 | 77,198 | 93 | 96,151 | 98,6 |

По данным таблиц: 2.8 – 2.11 были построены графики зависимости массы 1 м.п. профиля от количества связей в схемах раскладки прогонов. Данные графики представлены на рисунке 2.24.

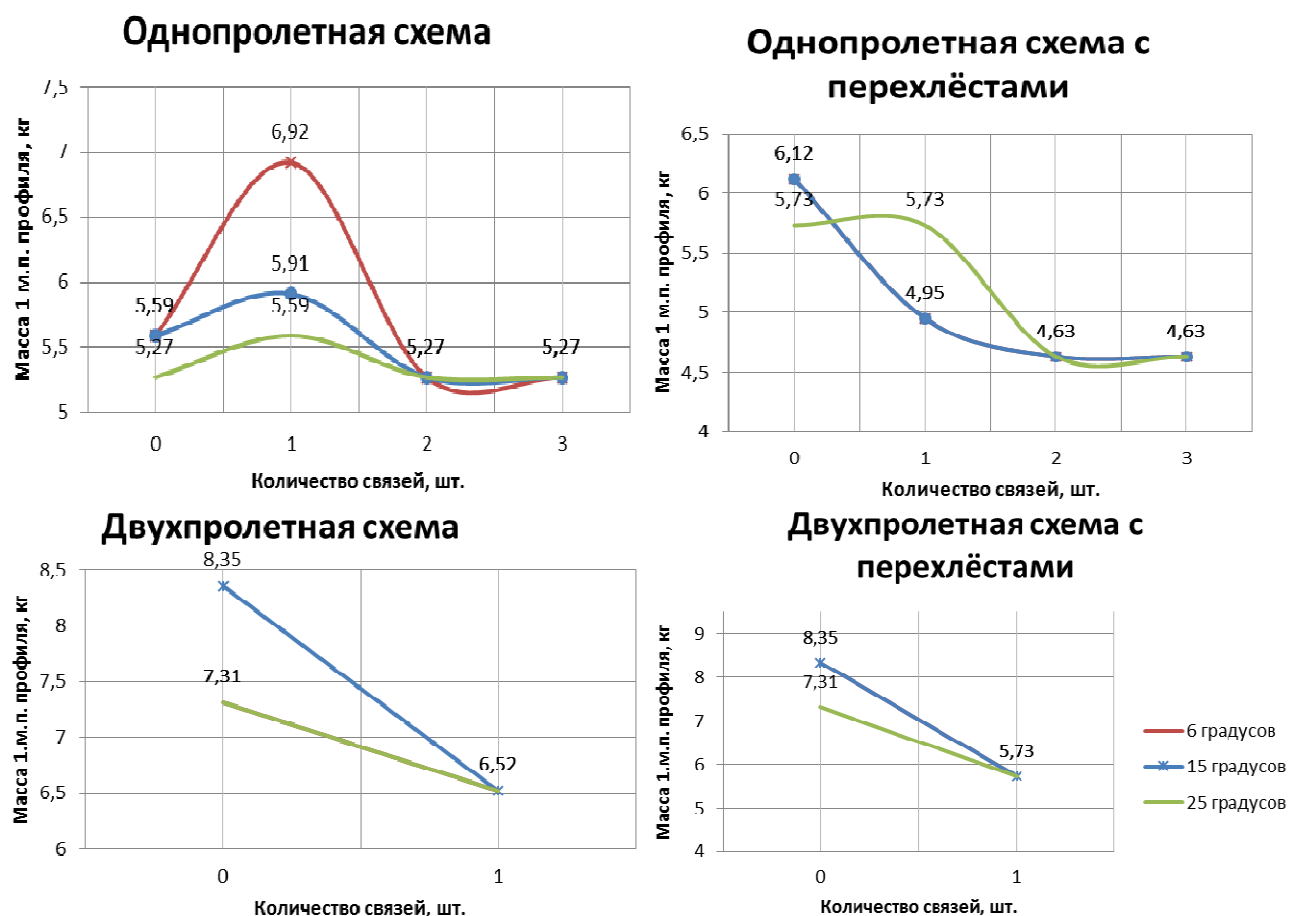


Рисунок 2.24 - Графики зависимости массы 1 м.п. профиля от количества связей для схем раскладки прогонов. Сталь марки С350.

Для однопролетной схемы, см. рисунок 2.24, добавление третьей связи никак не влияет на вес 1 м.п. профиля, поэтому 3 связи применять не выгодно. Самый выгодный вариант при уклоне 25° без связей, самая не выгодная – с одной связью при уклоне 6°.

По графику для однопролетной схемы с перехлёстами, см. рисунок 2.24, можно сказать, что при добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 м/п уменьшается от 19 до 32%. Лучшим вариантом является схема без связи с уклоном 25°. Разница в массе 1 м/п профиля при добавлении 2 или 3 связей небольшая во всех трёх случаях. Невыгодная схема – без связей с уклоном 6° и 15°.

Из графика для двухпролетной схемы, см. рисунок 2.24, что двухпролетная схема не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связи уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 м/п уменьшается на 22%. В результате выгодными являются все три случая с 1 связью.

По графику для двухпролетной схемы с перехлёстами, см. рисунок 2.24, видно, что двухпролетная схема с перехлёстами не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 п/м уменьшается на 31%.

2.3.4 Расчет для прогонов из стали С450

Аналогично пункту 2.3.2 данной работы расчет был выполнен из профилей марки стали С450. Серым цветом выделена определяющая проверка. В таблице 2.12 - 2.15 показаны результаты для схем и их запас несущей способности.

Таблица 2.12 – Профили однопролетной схемы и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 17 | 81,9 | 6,455 | 92,6 | 88,682 | 98,2 |
| | 1 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2,5 | 81,9 | 6,455 | 92,6 | 88,682 | 98,2 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 24,6 | 81,9 | 6,455 | 92,7 | 90,752 | 98,2 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 23,4 | 81,9 | 6,455 | 92,7 | 90,752 | 98,2 |
| 15 | 0 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 19,4 | 82,4 | 9,179 | 92,7 | 88,682 | 98,2 |
| | 1 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 5,3 | 82,4 | 9,179 | 92,7 | 89,176 | 98,2 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 26,8 | 82,4 | 9,179 | 92,7 | 90,752 | 98,2 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 25,6 | 82,4 | 9,179 | 92,7 | 91,882 | 98,2 |
| 25 | 0 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 31,8 | 89,6 | 8,937 | 93,2 | 89,952 | 98,8 |
| | 1 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 17,3 | 89,6 | 8,937 | 93,2 | 90,141 | 98,8 |
| | 2 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 35 | 89,6 | 8,937 | 93,2 | 91,317 | 98,8 |
| | 3 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 34,1 | 89,6 | 8,937 | 93,2 | 91,317 | 98,8 |

Таблица 2.13 – Профили однопролетной схемы с перехлёстами и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 39,5 | 14,345 | 89,7 | 77,101 | 95,6 | 96,682 | 99 |
| | 1 | Z120, t = 2,5мм | 5,33 | 37,7 | 13,609 | 88,3 | 67,151 | 94,7 | 96,447 | 98,8 |
| | 2 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 34,8 | 12,091 | 83,9 | 59,552 | 93,5 | 95,411 | 98,3 |
| | 3 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 36,9 | 17,564 | 83,9 | 59,552 | 93,5 | 95,811 | 98,3 |
| 15 | 0 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 41,2 | 16,809 | 89,7 | 77,762 | 95,6 | 96,682 | 99 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 39,5 | 13,03 | 84,3 | 72,571 | 94,6 | 96,682 | 98,3 |
| | 2 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 36,9 | 14,67 | 84,3 | 60,815 | 93,5 | 96,682 | 98,3 |
| | 3 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 38,8 | 19,983 | 84,3 | 60,715 | 93,5 | 95,811 | 98,3 |
| 25 | 0 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 30,8 | 1,522 | 85,2 | 74,264 | 94,5 | 92,794 | 98,3 |
| | 1 | Z120, t = 2,5мм | 5,33 | 43,3 | 21,272 | 89,3 | 70,066 | 94,7 | 96,47 | 98,8 |
| | 2 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 41,2 | 20,032 | 85,2 | 63,14 | 93,5 | 95,411 | 98,3 |
| | 3 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 42,6 | 25,016 | 85,2 | 63,14 | 93,5 | 95,811 | 98,3 |

Таблица 2.14 – Профили двухпролетной схемы и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 20,4 | 4,1105 | 85,6 | 68,536 | 93,6 | 95,058 | 98,6 |
| | 1 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 21,8 | 10,578 | 85,6 | 58,439 | 93 | 95,058 | 98,6 |
| 15 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 20,4 | 4,11 | 85,6 | 69,443 | 93,6 | 95,058 | 98,6 |
| | 1 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 24,6 | 13,609 | 85,6 | 59,828 | 93 | 95,058 | 98,6 |
| 25 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 27,5 | 12,616 | 86,9 | 71,33 | 93,6 | 95,082 | 98,6 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 13,9 | 3,508 | 85,7 | 48,155 | 91,6 | 93,505 | 98,6 |

Таблица 2.15 – Профили двухпролетной схемы с перехлёстами и их запас несущей способности

| Гравитационная нагрузка | | | | | | | | Подъёмная нагрузка | | |
|-------------------------|------------|-----------------|----------------|---|---|---|----------------------|---|---|---|
| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) | Проверка прогибов(%) | Проверка прочности по нормальным напряжениям(%) | Проверка устойчивости свободного пояса(%) | Проверка несущей способности и на сдвиг (%) |
| 6 | 0 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 30,7 | 4,729 | 88,8 | 89,229 | 95,9 | 97,388 | 98,9 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 14,8 | 2,301 | 82,4 | 69,143 | 93,2 | 96,164 | 98,2 |
| 15 | 0 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 32,7 | 7,468 | 88,8 | 89,229 | 95,9 | 97,388 | 98,9 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 14,8 | 2,301 | 82,4 | 69,143 | 93,2 | 96,164 | 98,2 |
| 25 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 24,1 | 1,524 | 88,8 | 87,389 | 95,5 | 97,152 | 98,9 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 17,4 | 5,141 | 82,4 | 70,027 | 93,2 | 96,164 | 98,2 |

По данным таблиц: 2.12 – 2.15 были построены графики зависимости массы 1 м.п. профиля от количества связей в схемах раскладки прогонов. Данные графики представлены на рисунке 2.25.

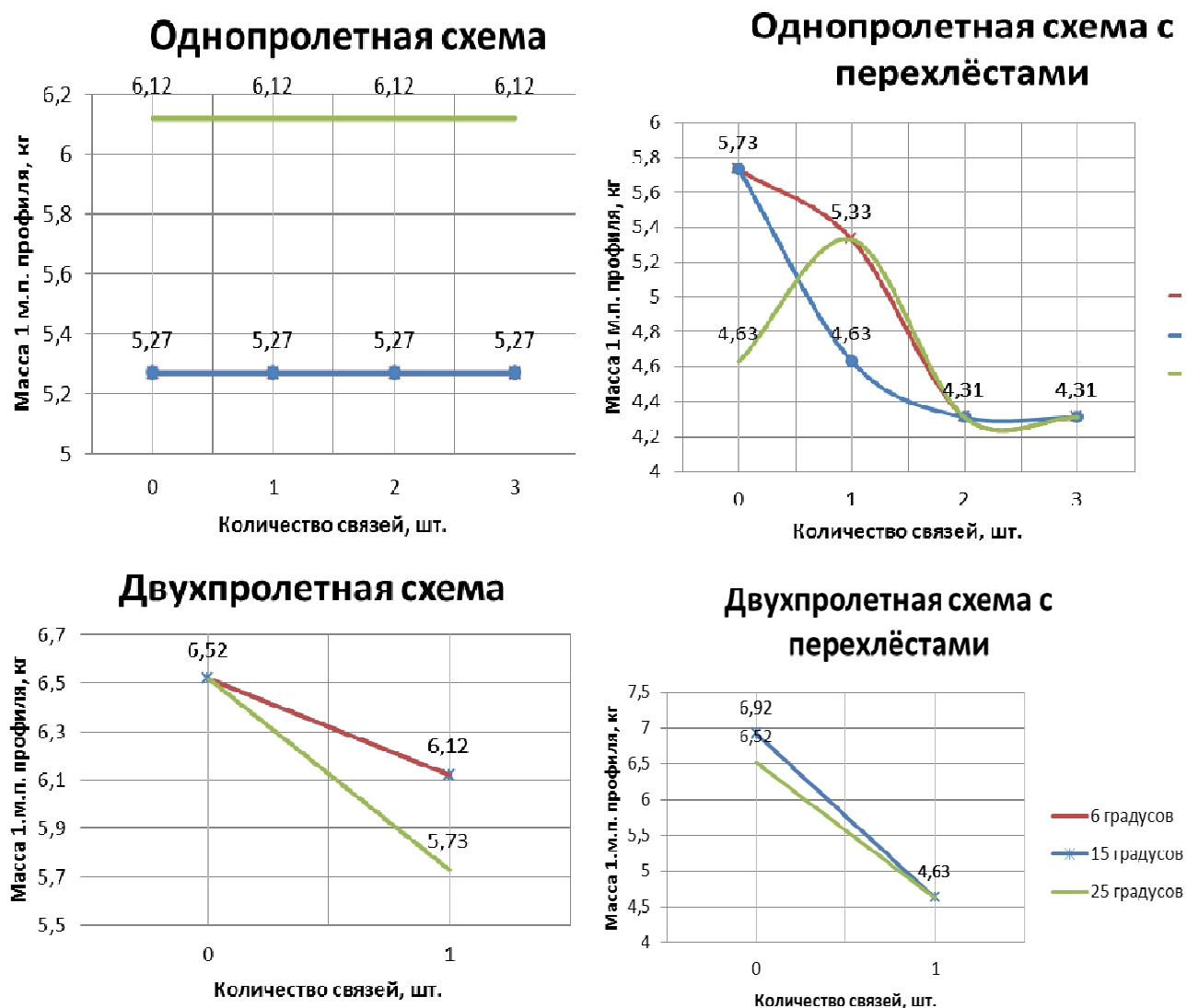


Рисунок 2.25 - Графики зависимости массы 1 м.п. профиля от количества связей для схем раскладки прогонов. Сталь марки С450

Из графика видно, что для однопролетной схемы, см. рисунок 2.25, добавление связей никак не влияет на вес 1 м.п. профиля. Самый выгодный вариант при уклонах 6° и 15° без связей, самый не выгодный – без связи при уклоне 25°.

По графику для однопролетной схемы с перехлёстами, см. рисунок 2.25, можно сказать, что при добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 м.п. уменьшается на 24%. Лучшим вариантом является схема без связи с уклоном 25°. Разница в массе 1 м.п. профиля при

добавлении 2 или 3 связей небольшая во всех трёх случаях. Невыгодная схема – без связей с уклоном 6° и 15° .

Двухпролетной схема, см. рисунок 2.25, не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связи уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 м.п. при уклоне 6° и 15° уменьшается на 12%, а при уклоне 25° на 6%. В результате выгодными являются все три случая с 1 связью.

По графику для двухпролетной схемы с перехлёстами, см. рисунок 2.25, видно, что двухпролетная схема с перехлёстами не выгодна при схеме без связей, но выгодна при постановке 1 связи. При добавлении связей уменьшается сечение профиля прогона, в результате чего вес 1 п.м уменьшается на 33%.

2.3.5 Выводы по расчётам

Наличие перехлёстов снижает расход стали.

Выбор рациональной схемы раскладки прогонов зависит от уклона кровли. При увеличении уклона кровли, в зависимости от добавления связей, несущая способность прогонов увеличивается.

При увеличении прочности стали (С350) и особенно (С450), часто решающими проверками являются ограничения по прогибам.

С повышением прочности стали влияние количества установленных связей снижается.

Для марки стали С450 (однопролетная схема) наличие, либо отсутствие связей не влияет на несущую способность.

2.3.6 Техничко-экономические показатели

Основной задачей является выявление рациональных раскладок прогонов из стальных холодногнутых тонкостенных профилей Z-образного сечения, с точки зрения расхода металла и расхода метизов.

Для решения данной задачи необходимо посчитать: расход металла на 1 м^2 прогонов с перехлёстами и связями; и количество метизов на 1 м^2 покрытия.

Для здания размером $18 \times 36\text{ м}$, высотой в коньке 8 м , кровля двухскатная был посчитан расход металла на 1 м^2 с учётом прогонов, перехлёстов и связей. В конструктивных решениях производителя Metsec[12], если кровля двухскатная и длина ската меньше 20 м , то используются тяжи в качестве связей, см. рисунок 4.6.1. Тяжи взяты в соответствии с [73]. Прогоны изготовлены из стали марок: С245, С350 и С450, масса 1 м.п. профиля даны в пунктах 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4.

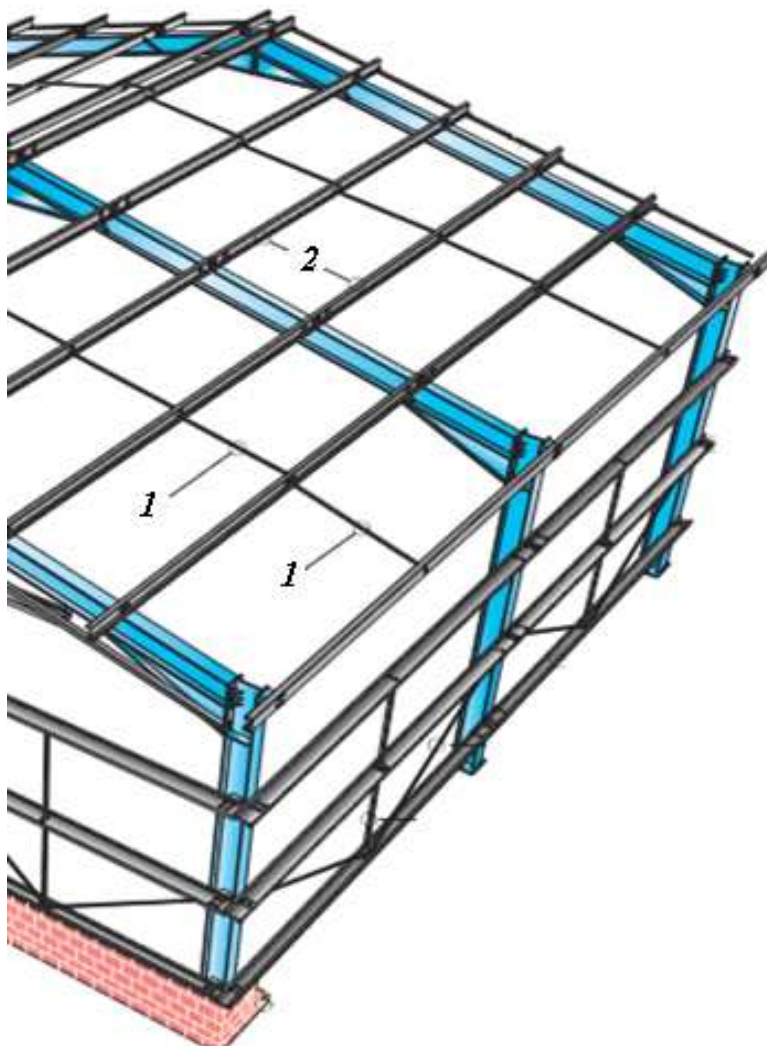


Рисунок 2.26 – Связи в покрытии: 1 – тяжи, 2 – прогоны.

В таблицах 2.16 – 2.19 представлены данные расхода металла на 1 м² прогонов с перехлёстами и связями для схем раскладки прогонов из стали марки С245.

Таблица 2.16 – Расход металла на 1 м² покрытия однопролетной схемы с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг профиля | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 0 | 3684,24 | 648 | 5,69 |
| | 1 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4208,4 | 252,48 | 4460,88 | | 6,88 |
| | 2 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 3487,68 | 507,96 | 3995,64 | | 6,17 |
| | 3 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 3487,68 | 757,44 | 4245,12 | | 6,55 |
| 15 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 0 | 3684,24 | | 5,69 |
| | 1 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4208,4 | 252,48 | 4460,88 | | 6,88 |
| | 2 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 2978,64 | 504,96 | 3483,6 | | <u>5,38</u> |
| | 3 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 2978,64 | 757,44 | 3736,08 | | 5,77 |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 0 | 3684,24 | | 5,69 |
| | 1 | Z250, t = 2мм | 6,69 | 3371,76 | 252,48 | 3624,24 | | 5,59 |
| | 2 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 2978,64 | 504,96 | 3483,6 | | <u>5,38</u> |
| | 3 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 2978,64 | 757,44 | 3736,08 | | 5,77 |

Таблица 2.17 – Расход металла на 1 м² покрытия однопролетной схемы с перехлёстами с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4944,87 | 0 | 4944,87 | 648 | 7,63 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 3310,398 | 252,48 | 3562,878 | | 5,50 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 3120,894 | 507,96 | 3628,854 | | 5,60 |
| | 3 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 757,44 | 3688,83 | | 5,69 |
| 15 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4944,87 | 0 | 4944,87 | | 7,63 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 3310,398 | 252,48 | 3562,878 | | 5,50 |
| | 2 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 507,96 | 3439,35 | | 5,31 |
| | 3 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 757,44 | 3688,83 | | 5,69 |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 4328,982 | 0 | 4328,982 | | 6,68 |
| | 1 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 3120,894 | 252,48 | 3373,374 | | <u>5,21</u> |
| | 2 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 507,96 | 3439,35 | | 5,31 |
| | 3 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 757,44 | 3688,83 | | 5,69 |

Таблица 2.18 – Расход металла на 1 м² покрытия двухпролетной схемы с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z300, t = 2,5мм | 10,31 | 5196,24 | 0 | 5196,24 | 648 | 8,02 |
| | 1 | Z250, t = 2мм | 6,69 | 3371,76 | 252,48 | 3624,24 | | 5,59 |
| 15 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 5045,04 | 0 | 5045,04 | | 7,79 |
| | 1 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 252,48 | 3936,72 | | 6,08 |
| 25 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 5045,04 | 0 | 5045,04 | | 7,79 |
| | 1 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 252,48 | 3936,72 | | 6,08 |

Таблица 2.19 – Расход металла на 1 м² покрытия двухпролетной схемы с перехлёстами с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 5423,418 | 0 | 5423,418 | 648 | 8,37 |
| | 1 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 3202,038 | 252,48 | 3454,518 | | 5,33 |
| 15 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 5423,418 | 0 | 5423,418 | | 8,37 |
| | 1 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 3202,038 | 252,48 | 3454,518 | | 5,33 |
| 25 | 0 | Z250, t = 3мм | 10,01 | 5423,418 | 0 | 5423,418 | | 8,37 |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 3028,662 | 252,48 | 3281,142 | | 5,06 |

Вывод: для прогонов из стали марки С245 выгодными, с точки зрения расхода металла на 1 м² с учётом прогонов, перехлёстов и связей, схемами являются:

- для уклона 6° - двухпролётная схема с перехлёстами с 1 связью, вес 5,33кг/м².

- для уклона 15° - однопролетная схема с перехлёстами с 2 связями, вес 5,31кг/м².

- для уклона 25° - двухпролетная схема с перехлёстами с 1 связью, вес 5,06кг/м².

В таблицах 2.20 – 2.23 представлены данные расхода металла на 1 м² с учётом прогонов, перехлёстов и связей для схем раскладки прогонов из стали марки С350.

Таблица 2.20 – Расход металла на 1 м² покрытия однопролетной схемы с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг профиля | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м2 | Расход металла на 1 м2 покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------|---|
| 6 | 0 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 2817,36 | 0 | 2817,36 | 648 | <u>4,35</u> |
| | 1 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 3487,68 | 252,48 | 3740,16 | | 5,77 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 507,96 | 3164,04 | | 4,88 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 757,44 | 3413,52 | | 5,27 |
| 15 | 0 | Z200, t = 2мм | 5,59 | 2817,36 | 0 | 2817,36 | | <u>4,35</u> |
| | 1 | Z220, t = 2мм | 5,91 | 2978,64 | 252,48 | 3231,12 | | 4,99 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 504,96 | 3161,04 | | 4,88 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 757,44 | 3413,52 | | 5,27 |
| 25 | 0 | Z180, t = 2мм | 5,59 | 2817,36 | 0 | 2817,36 | | <u>4,35</u> |
| | 1 | Z200, t = 2мм | 5,79 | 2918,16 | 252,48 | 3170,64 | | 4,89 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 504,96 | 3161,04 | | 4,88 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 757,44 | 3413,52 | | 5,27 |

Таблица 2.21 – Расход металла на 1 м² покрытия однопролетной схемы с перехлёстами с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м2 | Расход металла на 1 м2 покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------|---|
| 6 | 0 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3624,264 | 0 | 3624,264 | 648 | 5,59 |
| | 1 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 252,48 | 3183,87 | | <u>4,91</u> |
| | 2 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 507,96 | 3249,846 | | 5,02 |
| | 3 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 757,44 | 3499,326 | | 5,40 |
| 15 | 0 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3624,264 | 0 | 3624,264 | | 5,59 |
| | 1 | Z160, t = 2мм | 4,95 | 2931,39 | 252,48 | 3183,87 | | <u>4,91</u> |
| | 2 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 507,96 | 3249,846 | | 5,02 |
| | 3 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 757,44 | 3499,326 | | 5,40 |
| 25 | 0 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3393,306 | 0 | 3393,306 | | 5,24 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3393,306 | 252,48 | 3645,786 | | 5,63 |
| | 2 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 507,96 | 3249,846 | | <u>5,02</u> |
| | 3 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 757,44 | 3499,326 | | 5,40 |

Таблица 2.22 – Расход металла на 1 м² покрытия двухпролетной схемы с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4208,4 | 0 | 4208,4 | 648 | 6,49 |
| | 1 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3286,08 | 252,48 | 3538,56 | | <u>5,46</u> |
| 15 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 0 | 3684,24 | | 5,69 |
| | 1 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3286,08 | 252,48 | 3538,56 | | <u>5,46</u> |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3684,24 | 0 | 3684,24 | | 5,69 |
| | 1 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3286,08 | 252,48 | 3538,56 | | <u>5,46</u> |

Таблица 2.23 – Расход металла на 1 м² покрытия двухпролетной схемы с перехлёстами с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4524,03 | 0 | 4524,03 | 648 | 6,98 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3104,514 | 252,48 | 3356,994 | | <u>5,18</u> |
| 15 | 0 | Z250, t = 2,5мм | 8,35 | 4524,03 | 0 | 4524,03 | | 6,98 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3104,514 | 252,48 | 3356,994 | | <u>5,18</u> |
| 25 | 0 | Z220, t = 2,5мм | 7,31 | 3960,558 | 0 | 3960,558 | | 6,11 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3104,514 | 252,48 | 3356,994 | | <u>5,18</u> |

Вывод: для прогонов из стали марки С350 выгодными, с точки зрения расхода металла на 1 м² с учётом прогонов, перехлёстов и связей, схемами являются:

- для уклона 6° - однопролетная схема без связей, вес 4,35кг/м².
- для уклона 15° - однопролетная схема без связей, вес 4,35кг/м².
- для уклона 25° - однопролетная схема без связей, вес 4,35 кг/м².

В таблицах 2.24 – 2.27 представлены данные расхода металла на 1 м² с учётом прогонов, перехлёстов и связей для схем раскладки прогонов из стали марки С450.

Таблица 2.24 – Расход металла на 1 м² покрытия однопролетной схемы с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг профиля | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 0 | 2656,08 | 648 | <u>4,10</u> |
| | 1 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 252,48 | 2908,56 | | 4,49 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 507,96 | 3164,04 | | 4,88 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 757,44 | 3413,52 | | 5,27 |
| 15 | 0 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 0 | 2656,08 | | <u>4,10</u> |
| | 1 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 252,48 | 2908,56 | | 4,49 |
| | 2 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 504,96 | 3161,04 | | 4,88 |
| | 3 | Z180, t = 2мм | 5,27 | 2656,08 | 757,44 | 3413,52 | | 5,27 |
| 25 | 0 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3084,48 | 0 | 3084,48 | | 4,76 |
| | 1 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3084,48 | 252,48 | 3336,96 | | 5,15 |
| | 2 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3084,48 | 504,96 | 3589,44 | | 5,54 |
| | 3 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3084,48 | 757,44 | 3841,92 | | 5,93 |

Таблица 2.25 – Расход металла на 1 м² покрытия однопролетной схемы с перехлёстами с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3393,306 | 0 | 3393,306 | 648 | 5,24 |
| | 1 | Z120, t = 2,5мм | 5,33 | 3156,426 | 252,48 | 3408,906 | | 5,26 |
| | 2 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 2552,382 | 507,96 | 3060,342 | | 4,72 |
| | 3 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 2552,382 | 757,44 | 3309,822 | | 5,11 |
| 15 | 0 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 3393,306 | 0 | 3393,306 | | 5,24 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 252,48 | 2994,366 | | 4,62 |
| | 2 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 2552,382 | 507,96 | 3060,342 | | 4,72 |
| | 3 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 2552,382 | 757,44 | 3309,822 | | 5,11 |
| 25 | 0 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2741,886 | 0 | 2741,886 | | <u>4,23</u> |
| | 1 | Z120, t = 2,5мм | 5,33 | 3156,426 | 252,48 | 3408,906 | | 5,26 |
| | 2 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 2552,382 | 507,96 | 3060,342 | | 4,72 |
| | 3 | Z120, t = 2мм | 4,31 | 2552,382 | 757,44 | 3309,822 | | 5,11 |

Таблица 2.26 – Расход металла на 1 м² покрытия двухпролетной схемы с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3286,08 | 0 | 3286,08 | 648 | 5,07 |
| | 1 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3084,48 | 252,48 | 3336,96 | | 5,15 |
| 15 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3286,08 | 0 | 3286,08 | | 5,07 |
| | 1 | Z160, t = 2,5мм | 6,12 | 3084,48 | 252,48 | 3336,96 | | 5,15 |
| 25 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3286,08 | 0 | 3286,08 | | 5,07 |
| | 1 | Z140, t = 2,5мм | 5,73 | 2887,92 | 252,48 | 3140,4 | | <u>4,85</u> |

Таблица 2.27 – Расход металла на 1 м² покрытия двухпролетной схемы с перехлёстами с учётом прогонов, перехлёстов и связей

| Уклон, град. | Связи, шт. | Сечение профиля | Вес 1 м.п., кг | Масса профиля, кг | Масса связей, кг | Общая масса, кг | Площадь здания, м ² | Расход металла на 1 м ² покрытия с учетом прогонов, перехлёстов и связей, кг |
|--------------|------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|---|
| 6 | 0 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 3749,256 | 0 | 3749,256 | 648 | 5,79 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2508,534 | 252,48 | 2761,014 | | <u>4,26</u> |
| 15 | 0 | Z200, t = 2,5мм | 6,92 | 3749,256 | 0 | 3749,256 | | 5,79 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2508,534 | 252,48 | 2761,014 | | <u>4,26</u> |
| 25 | 0 | Z180, t = 2,5мм | 6,52 | 3532,536 | 0 | 3532,536 | | 5,45 |
| | 1 | Z140, t = 2мм | 4,63 | 2508,534 | 252,48 | 2761,014 | | <u>4,26</u> |

Вывод: для прогонов из стали марки С450 выгодными, с точки зрения расхода металла на 1 м² с учётом прогонов, перехлёстов и связей, схемами являются:

- для уклона 6° - однопролетная без связей, вес 4,10кг/м².
- для уклона 15° - однопролетная без связей, вес 4,10кг/м².
- для уклона 25° - однопролетная схема с перехлёстами без связей, вес 4,26кг/м².

В расчетных соединениях с болтами классов точности А и В (за исключением крепления вспомогательных конструкций) следует предусматривать меры против самоотвинчивания гаек (постановка пружинных шайб, вторых гаек, частичное предварительное натяжение и др.) [72].

Закрепления гаек от самоотвинчивания при натяжении болтов на усилия, указанные в табл. 2.28 по [74], не требуется.

Таблица 2.28 - Усилия предварительного натяжения болтов

| Диаметры болтов мм | Усилия предварительного натяжения болтов P , кН (тс) | | |
|--------------------|--|------------|------------|
| | классов прочности | | |
| | 5.6 | 8.8 | 10.9 |
| M16 | 43 (4,4) | 82 (8,3) | 114 (11,7) |
| M20 | 67 (6,8) | 132 (13,4) | 178 (18,2) |

Заданное проектом натяжение болтов следует обеспечивать затяжкой гаек или вращением головок болтов до расчетного момента закручивания, либо поворотом гаек на определенный угол, либо другим способом, гарантирующим получение заданного усилия натяжения болтов [75].

Подсчёт расхода метизов на 1м^2 , с учётом крепления к несущей конструкции, представлен в таблице 2.29.

Таблица 2.29 – Расход метизов на 1м^2 , с учётом крепления к несущей конструкции

| Вид схемы | Метизы | Связи | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------|----|----|----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Однопролетная схема | Болт M16-6g x 40.88(S24) ГОСТ 7798-70 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| | Гайка M16-6H.8(S24) ГОСТ 5915-70 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| | Шайба А 16.01.08кп.016 ГОСТ 11371-78 | 24 | 32 | 40 | 48 |
| Однопролетная схема с перехлёстами | Болт M16-6g x 40.88(S24) ГОСТ 7798-70 | 20 | 24 | 32 | 44 |
| | Гайка M16-6H.8(S24) ГОСТ 5915-70 | 20 | 24 | 32 | 44 |
| | Шайба А 16.01.08кп.016 ГОСТ 11371-78 | 40 | 48 | 64 | 88 |
| Двухпролётная схема | Болт M16-6g x 40.88(S24) ГОСТ 7798-70 | 12 | 16 | - | - |
| | Гайка M16-6H.8(S24) ГОСТ 5915-70 | 12 | 16 | - | - |
| | Шайба А 16.01.08кп.016 ГОСТ 11371-78 | 24 | 32 | - | - |
| Двухпролетная схема с перехлёстами | Болт M16-6g x 40.88(S24) ГОСТ 7798-70 | 16 | 20 | - | - |
| | Гайка M16-6H.8(S24) ГОСТ 5915-70 | 16 | 20 | - | - |
| | Шайба А 16.01.08кп.016 ГОСТ 11371-78 | 32 | 40 | - | - |

Вывод: по расходу метизов на 1м^2 , с учётом крепления к несущей конструкции, можно судить, что самая выгодные схемы - однопролетная и двухпролетная без связей, самая не выгодная схема - однопролетная с перехлёстами с 3-мя связями.

3 Заключение

Данная работа посвящена исследованию схем раскладки прогонов из стальных оцинкованных холодногнутых Z-, С - и Сигма - образных профилей.

В нашем исследовании мы выяснили, что существует большое количество производителей и схем раскладки прогонов, выполненных из стальных холодногнутых профилей. Наиболее часто встречающиеся в зарубежном строительстве следующие: разрезная система, система с накладками, система с перехлёстами и система с усиленными крайними прогонами. В ходе работы подробно были рассмотрены и рассчитаны однопролетная и двухпролетная схемы с перехлёстами и без них, для Z-образного профиля.

На основании проделанного нами исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Выбор рациональной схемы раскладки прогонов зависит от следующих факторов: уклона кровли, количества связей, марки стали профилей и их конструктивных особенностей (наличие накладок или перехлёстов), количества метизов.

2. Наличие перехлёстов снижает расход стали.

3. При увеличении уклона кровли, в зависимости от добавления связей, несущая способность прогонов увеличивается.

4. При увеличении прочности стали (С350) и особенно (С450), часто решающими проверками являются ограничения по прогибам.

5. С повышением прочности стали влияние количества установленных связей снижается.

6. Для марки стали С450 (однопролетная схема) наличие, либо отсутствие связей не влияет на несущую способность.

7. С точки зрения расхода металла на 1м^2 с учётом прогонов, перехлёстов и связей, самой рациональной является однопролетная схема без связей из стали марки С450.

8. По расходу метизов на 1м^2 , с учётом крепления к несущей конструкции, можно судить, что самые рациональные схемы - однопролетная и двухпролетная без связей, самая нерациональная схема - однопролетная с перехлёстами с 3-мя связями

Дальнейшие исследования рекомендуется выполнять, анализируя схемы раскладки прогонов из холодногнутых С и Сигма-образных профилей, что в данной работе не учитывалось.

.

4 Список использованных источников

1. СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов. - М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2016.
2. Тонкостенные холодногнутые оцинкованные профили: [Электронный ресурс]. М., 2017. URL: <http://helpstud2.narod.ru/txp.html>. (Дата обращения: 26.04.2017).
3. Рыбаков В. А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций: учеб. Пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. 27 с.
4. Бычков Д.В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций. М.: Госстройиздат, 1962. 475с.
5. AISI S100-20016. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members – Washington : American Iron and Steel Institute, 2016. – 198
6. EN 1993-1-3:2009. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels : CEN, 2006.
7. AS/NZS 4600:2005 Australian/New Zealand Standard. Cold-formed steel structures. –Sydney/Wellington : Standards Australia/Standards New Zealand, 2005.
8. Айрумян.Э.Л., Галстян.В.Г. Исследование действительной работы тонкостенных холодногнутого прогона из оцинкованной стали // Промышленное и гражданское строительство.2002. №6.С. 31-34
9. Айрумян, Э.Л. Особенности расчёта стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей / Э.Л. Айрумян // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2008.- № 3. — С.2-7
10. Туснин А.Р. Применение тонкостенного конечного элемента при расчете прогона открытого профиля // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 405-408.

11. Информация о компании Ayrshire: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <http://www.ayrshire.co.uk/aboutus.html>. (Дата обращения: 20.04.2017).
12. Информация о компании Metsec: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <http://www.ayrshire.co.uk/aboutus.html>. (Дата обращения: 20.04.2017).
13. Информация о компании Stratco: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <https://www.stratco.com.au/about/html>. (Дата обращения 21.04.2017).
14. Информация о компании Kingspan: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <https://www.kingspan.com/group/who-we-are/history-highlights>. (Дата обращения 21.04.2017).
15. Информация о компании Pruszynski: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <http://www.pruszynski.com.ua/kompaniya>. (Дата обращения 21.04.2017).
16. Информация о компании Lindab Group: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <http://www.lindabgroup.com/English/about/Pages/default.aspx>. (Дата обращения 21.04.2017).
17. Информация о компании Joris Ide: [Электронный ресурс]. М., 2017.URL: <http://www.jorisode.ru/ru>. (Дата обращения 21.04.2017).
18. Chu X., Rickard J., Li L. Influence of lateral restraint on lateral - torsional buckling of cold-formed steel purlins//Thin-Walled Structures. Vol.43.No.5.2005.Pp.800-810.
19. Li, L.Y. Lateral-torsional buckling of cold-formed zed-purlins partial-laterally restrained by metal sheeting / L.Y. Li // Thin-Walled Structures. – Vol. 42, No. 2. – 2004. – P. 247-268.
20. Бобарыкина, О.Б. Несущая способность прогонов покрытия из тонкостенных гнутых профилей с учетом влияния стального профилированного листа / О.Б. Бобарыкина // Промышленное и гражданское строительство. –1994. – №5. – С. 35-37.
21. Бобарыкина, О. Б. О совместной работе прогонов из тонкостенных гнутых профилей с настилом из профилированного листа / О.Б. Бобарыкина //

Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Тезисы докладов. – Нижний Новгород: 1994. – 80 с.

22. Беляев, В.Ф. О работе изгибаемых стержней из тонкостенных гнутых профилей в качестве элементов покрытия с учетом влияния конструктивных факторов / В.Ф. Беляев, О.Б. Бобарыкина // Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Тезисы докладов. – Нижний Новгород: 1992.

23. Tusnina, O. A. (2013). An influence of the mesh size on the results of finite element analysis of Z-purlins supported by sandwich panels. *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1483-1486.

24. Tusnina, O.A. (2013). A finite element analysis of cold-formed Z-purlins supported by sandwich panels. *Applied Mechanics and Materials*, pp. 398-403.

25. Туснина О.А. Особенности работы тонкостенного холодногнутого прогона С-образного сечения // Вестник МГСУ, 2014. №10. С.64-74.

26. Туснина, О.А. Методика расчета тонкостенных прогонов быстровозводимых зданий / О.А. Туснина // Сборник тезисов III Всероссийской молодежной конференции «Устойчивость, безопасность и энергоресурсосбережение в современных архитектурных, конструктивных, технологических решениях и инженерных системах зданий и сооружений». – М.: МГСУ, 2012. – С. 286-293.

27. Basaglia C., Camotim D., Gonçalves R., Graça A. (2013).GBT-based assessment of the buckling behaviour of cold-formed steel purlins restrained by sheeting, *Thin-walled structures*. 2013. No. 72 pp. 217-229.

28. Белый Г.И., Астахов И.В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из стальных холодногнутых профилей // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2006. № 9. С. 21-25.

29. Астахов И.В. Особенности расчета на прочность и устойчивость стержневых элементов из гнутых профилей // Доклады 61-ой научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2004.

30. Астахов И.В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутых профилей. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.23.01. С-Пб., 2006. 123 с.

31. Данилов, А.И. Численный анализ поведения тонкостенных гнутых прогонов в составе конструкций покрытия из сэндвич-панелей / А.И. Данилов, О.А. Туснина // Сборник трудов Международной научной конференции "Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ, 2014. – С. 144-147.

32. Данилов, А.И. Экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния прогона покрытия из сэндвич-панелей / А.И. Данилов, О.А. Туснина // Вестник МГСУ. – 2014. - №11. – С.26-37.

33. Семенов, А.С. Экспериментальное исследование работы холодногнутых профилей в составе конструкции покрытия / А.С. Семенов, В.В. Зверев // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре: сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк, 2007. – С. 219-220.

34. Lee, S.R. Experimental determination of required lateral restraint forces for Zpurlin supported, sloped metal roof systems / S.R. Lee // Thesis for the degree of Master of Science. – Blacksburg, Virginia, USA. – 2001. – 244 p.

35. Pekoz, T. Behavior of C and Z-purlins under wind uplift / T. Pekoz, P. Soroushian // Proceedings of the sixth international specialty conference on cold-formed steel structures. – St. Louis, Missouri, USA. – 1982.

36. Sears, J.M. Proposed method for the prediction of lateral restraint forces in metal building roof systems / J.M. Sears, T.M. Murray // Annual Stability Conference Proceedings, Structural Stability Research Council. – 2007.

37. Seek. M. W., Murray. T. M. Mechanics of lateral brace forces in Z- purlin roof systems // Conference Proceedings, Structural Stability Research Council Annual Stability Research Council. Rolla, Missouri, 2005. Pp. 55-76.

38. Balazs, I. Stabilization of beams by trapezoidal sheeting: parametric study / I. Balazs, J. Melcher, M. Horecek // Proceedings of the 3rd European Conference of Civil Engineering. – Paris, France. – 2012. – P. 223-227.
39. Sesheppa, V. Experimental studies of Z-purlin supported roof systems / V. Sesheppa, T.M. Murray // Fears Structural Engineering Laboratory Report No. FSEL/MBMA 86-01, University of Oklahoma. – Norman, Oklahoma, USA – 81 p.
40. Ciurej, H. Experimental research and integrated FEM modeling for sheet roof covering with thermal insulation / H. Ciurej, M. Piekarczyk, E. Pieciorak // Mechanics and Mechanical Engineering. – Vol. 14, No. 2. – 2010. – P. 183-192.
41. Lucas R.M., Albermani. F.G.A., Kitiporchai S. Modelling of the cold-formed purlin – sheeting systems – Part 1: full model // Thin – Walled Structures. 1997.Vol.27.No.4.Pp 223-243.
42. Albermani. F.G.A., Kitipornchai S. Cold - formed purlin - sheeting systems // Proceedings of the Third International Conference on Advances in Steel Structures. Hong Hong, China. 2003. Pp. 429-435.
43. Seek, M. W. and Murray, T. M. Computer Modeling of Sloped Z-Purlin Supported Roof Systems to Predict Lateral Restraint Force Requirements.// Conference Proceedings, 17th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Department of Civil Engineering, University of Missouri-Rolla. Rolla, Missouri. 2004.
44. Chen, J.K.and Li, L.Y. Distortional buckling of cold-formed steel sections subjected to uniformly distributed transverse loading // International Journal of Structural Stability and Dynamics, 10(5), 2010, 1017-1030.
45. H.C. Ho K.F. Chung Experimental investigation into structural behavior of lapped connections between cold-formed steel Z sections. The Hong Kong Polytechnic University, 2004.
46. Strength and stiffness of cold-formed steel purlins with sleeved and overlapped bolted connections. Alomir H. Favero Neto, Luiz C. M. Vieira Jr. b,1, Maximiliano Malitec, 2a Institute for Technological Research (IPT) - Sao Paulo, Brazil .2015. доступ.: [http://www.academia.edu/27319396/Strength and](http://www.academia.edu/27319396/Strength_and)

stiffness of cold-formed steel purlins with sleeved and overlapped bolted connections.

47. Liu, Q. (2012), "Structural analysis and design of cold-formed steel sigma purlins", PhD thesis, the University of Birmingham.

48. Dubina, D. and Ungureanu, V., "Effect of imperfections on numerical simulation of instability behaviour of cold-formed steel members", *Thin-Walled Structures*, 40,2002, 239-262.

49. Sokol, L. (1996), "Stability of cold-formed purlins braced by steel sheeting", *Thin-Walled Structures*, 25(4), 247-268.

50. Pham, C.H. and Hancock, G.J. (2009), "Direct strength design of cold-formed purlins", *Journal of Structural Engineering*, 135(3), 229-238.

51. Jiang, C. and Davies, J.M. (1997), "Design of thin-walled purlins for distortional buckling", *Thin-Walled Structures*, 29, 189-202.

52. Ho H.C., Chung K.F. An experimental investigation into lapped moment connections between Z sections. *Proceedings of the third international conference on advances in steel structures*, Hong Kong; December 2002, p. 437–444.

53. Ho H.C., Chung K.F. Experimental investigation onto the structural behaviour of lapped connections between cold-formed steel Z sections. *Thin-Walled Struct* 2004;42:1013–33

54. Chung, K., Ho, H., 2005. Analyses and design of lapped connections between cold-formed steel Zsections. *Thin-Walled Structures* 43, 1071–1090.

55. Dubina, D., Ungureanu, V., 2010. Behaviour of multi-span cold-formed Z-purlins with boltedlapped connections. *Thin-Walled Structures* 48,866–871.

56. Epstein, H., Murtha-Smith, E., Mitchell, J., 1998 .Analysis and design assumptions for continu-ous cold-formed purlins. *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 3, 60–67.

57. Favero Neto, A., 2013. Continuous cold-formed steel purlins over internal supports: emphasis to the study of web bolted connections with over-lap or sleeve (in Portuguese). Sao Carlos School of Engineering-USP.

58. Gutierrez, R., Loureiro, A., Reinoso, J., Lopez, M., 2015. Numerical study of purlin joints with sleeve connections. *Thin-Walled Structures* 94, 214–224.
59. Pham, C., Davis, A., Emmett, B., 2012. Experimental and numerical investigations of high strength cold-formed lapped Z purlins under combined bending and shear. In: *Proc. of the 21st International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures*, 391–406.
60. Tan, S., Seah, L., Li, Y., 2002. Connections of sleeve joint purlin system. *Structural Engineering and Mechanics* 13, 1–16.
61. Zhang, L., Tong, G., 2008. Moment resistance and flexural rigidity of lapped connections in multi-span cold-formed Z purlin systems. *Thin-Walled Structures* 46, 551–560.
62. Б.Е. Беляев Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Б.Е. Беляев – М.: Издательство литературы по строительству, 1968. – 240 с.
63. Павлов А. Б., Бабушкин В. М. Болтовые монтажные соединения в стальных строительных конструкциях // Тр. ин-та к 100-летию со дня рождения акад. Н. П. Мельникова. М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2009. С. 153-177.
64. Корниенко В.С. Изготовление строительных металлических конструкций / Корниенко В.С. - М.: Стройиздат, 1977г. - 176 с.
65. Енджиевский, Л.В. Каркасы зданий из легких металлических конструкций и их элементы / Л.В. Енджиевский, В.Д. Надеяев, И.Я. Петухова. М.: АСВ, 1998. - 246 с.
66. Вейнблат Б.М., Бунеев Г.И. Расчёт сооружений с несущими высокопрочными болтами // Сб. науч. тр. МАДИ, 1975. Вып. 77. – С. 37–42.
67. Ведяков, И.И. Несущая способность болтовых соединений легких конструкций из холодногнутых профилей малых толщин / И.И. Ведяков, П.Д. Одесский, Д.В. Соловьев // Промышленное и гражданское строительство. 2010. - № 3. - С. 19-22.
68. СП 17.13330.2011 Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 162 с. 1

69. CFSteel v3.1. Руководство пользователя Программа расчёта элементов и конструкций из стальных тонкостенных холодногнуто́тых профилей [Электронный ресурс] Электрон. версия печат. публ. URL: <http://cfsteel.ru/index.php/about/cfsteel-v31> (дата обращения: 25.03.2017).

70. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Пересмотр СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Введ. 2017-06-04. - М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2016. - 76 с.

71. Стандарт организации 001-79850813 Профили холодногнуто́тые из оцинкованной стали для строительства - М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко - Москва, 2015.

72. СП 16.13330.2016. Стальные конструкции. Пересмотр СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменением N 1) Введ. 2017-06-04. □ М.: Изд-во Минрегион России, 2016.

73. ГОСТ 2590-2006 . Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. – Москва: Изд-во стандартов, 2010 – 8с.

74. Рекомендации по применению в проектах монтажных соединений на болтах М16, М20 и М24 (в том числе конических) классов прочности 5.6, 8.8, 10.9 с предварительным их натяжением. М. : ЦНИИПСК им. Мельникова, м., 1998.

75. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Введ. 1.03.2012. - М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2012. – 293с.

Приложение А

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

Строительно-технологический факультет

Кафедра «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»

УДК 624.014.7

Допустить к защите в ГЭК

Зав. кафедрой _____ И.В. Носков

(подпись)

«_____» _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ № 14

на выполнение магистерской диссертации

По направлению С «Строительство». Магистерская программа

Студенту группы 8С-51 Легаловой Татьяне Евгеньевне

Тема: Анализ схем раскладки прогонов из холодногнутой Z, С и сигма - образных профилей

Утверждено приказом ректора от 06.12.2016 № Л-4136

Срок исполнения работы 9.01.2017 – 20.06.2017

Задание принято к исполнению _____ Легалова Татьяна Евгеньевна
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Барнаул 2017

Продолжение приложения А

1 Исходные данные

- 384ФЗ - Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013года);
- СП 16.13330.2016. Стальные конструкции. Пересмотр СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*;
- СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов;
- СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Пересмотр СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*;
- СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87

2 Содержание разделов магистерской диссертации и календарный график ее выполнения:

| Наименование и содержание раздела | Срок выполнения | Консультант (фамилия, инициалы) |
|---|---------------------------|---------------------------------------|
| Пояснительная записка | | |
| Введение | 9.01.2017 - 20.06.2017 | Кикоть А.А. |
| 1. Анализ состояния проблемы | | |
| 2. Обзор литературы | | |
| 3.Методика проведения научно-исследовательской работы | | |
| 4.Расчёт прогонов из Z-образных профилей | | |
| 5.Технико-экономические показатели | | |
| Заключение | | |
| Графическая часть | | |
| 1. Исходные данные, задачи и цели исследования | 9.01.2017- 20.06.2017 | Кикоть А.А. |

| | | | |
|--|-----------------|--------------------------|-------------|
| 2. Общая модель однопролетной раскладки прогонов | модель схемы | 9.01.2017- 20.06.2017 | Кикоть А.А. |
| 3. Общая модель однопролетной раскладки прогонов с перехлёстами | модель схемы | | |
| 4. Общая модель двухпролетной раскладки прогонов | | | |
| 5. Общая модель двухпролетной раскладки прогонов с перехлёстами | | | |
| 6. Графики зависимости 1 м.п. профиля от количества связей, общие выводы | | | |

3 Рекомендуемая литература

- провести интернет-поиск аналогов научных работ, напрямую или косвенно связанных с темой магистерской диссертации.
- изучить действующие отечественные и иностранные нормы, связанные с проектированием и испытанием прогонов их стальных холодногнутых профилей.
- изучить отечественные и иностранные публикации по применению и определению несущей способности прогонов из стальных холодногнутых профилей.

4 Научный руководитель

к.т.н., доцент
(ученое звание)

(подпись)

А.А. Кикоть
(И.О. Фамилия)

Приложение Б

Приложение В

(Пример расчета двухпролетного прогона из стали С350, уклон 15°, 1 связь в программе CFSteel v 3.1)



**ДЕЛЬТА
Инжиниринг**

Deltaing@mail.ru

CFSteel v.3.1

Пользователь

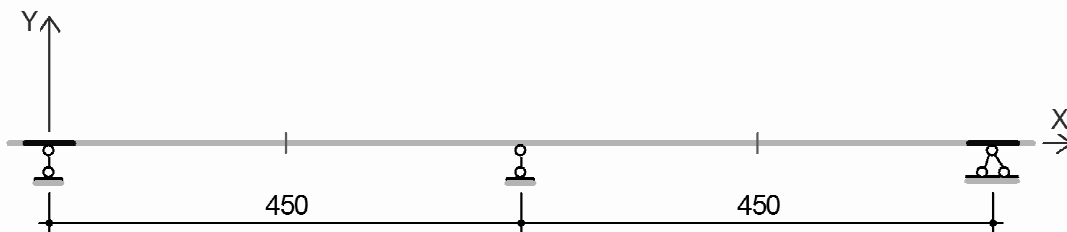
Магистратура

22.04.2017

Расчёт прогонов покрытия

Расчёт

Схема



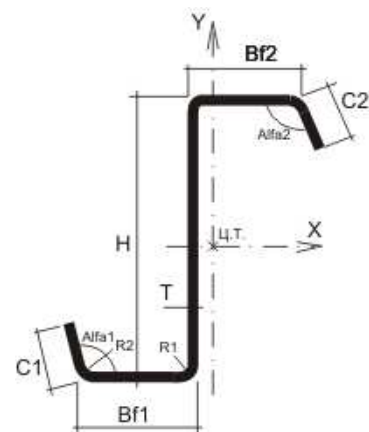
Уклон покрытия $\alpha = 15,0^\circ$

Перехлёт
(накладка): 45,0 см
Изгибная абсолютно
жёсткость: жёстко

Сечение

Размеры сечения

| Обозн. | Наименование | Значение | Ед. изм. |
|-------------------|--|----------|----------|
| H | Высота | 140,0 | мм |
| t | Толщина | 2,50 | мм |
| B _{f1} | Ширина нижнего пояса | 59,5 | мм |
| B _{f2} | Ширина верхнего пояса | 65,5 | мм |
| C ₁ | Ширина нижнего отгиба | 22,0 | мм |
| C ₂ | Ширина верхнего отгиба | 22,0 | мм |
| α_1 | Угол наклона нижнего отгиба | 90,0 | ° |
| α_2 | Угол наклона верхнего отгиба | 90,0 | ° |
| R ₁ | Внутр. радиус закругления стенка-отгиб | 5,0 | мм |
| R ₂ | Внутр. радиус закругления пояс-отгиб | 5,0 | мм |
| | Вес 1 погонного метра профиля | 5,73 | кг |
| t _{coat} | Толщина цинкового покрытия | 0,040 | мм |



Потеря устойчивости формы сечения

учтена
72

Ориентация профиля:
так

Общие данные

Сталь 350 ГОСТ Р 52246

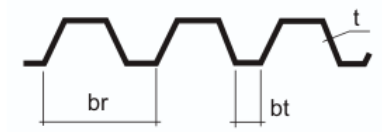
| | | |
|--|-----------|--------------------|
| Расчётное сопротивление R_y | 33,00 | кН/см ² |
| Коэффициент условий работы для расчётов на прочность γ_c | 1,00 | |
| Коэффициент условий работы для расчётов на устойчивость γ_c | 1,00 | |
| Коэффициент надёжности по ответственности γ_n | 1,00 | |
| Предельный прогиб f_u | 1 / 175,0 | |

Коэффициент поворота C_{100} по табл. 10.3 ЕС3-1-3

| | | | | | | |
|---------------------------|-----------|-----|-------|------------|------|----|
| Нагрузка направлена вниз | C_{100} | 5,2 | кНм/м | b_{tmax} | 40,0 | мм |
| Нагрузка направлена вверх | C_{100} | 2,6 | кНм/м | b_{tmax} | 40,0 | мм |

Профилированный настил

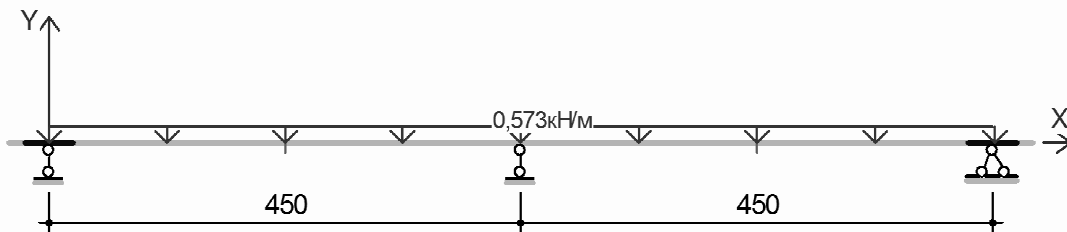
| | | |
|--|------------------------|----|
| Ширина волны b_r | 175,0 | мм |
| Ширина полки крепления к прогону b_t | 44,0 | мм |
| Толщина настила t | 0,80 | мм |
| Положение настила | узкие полки на прогоне | |



Ввод
загрузений:

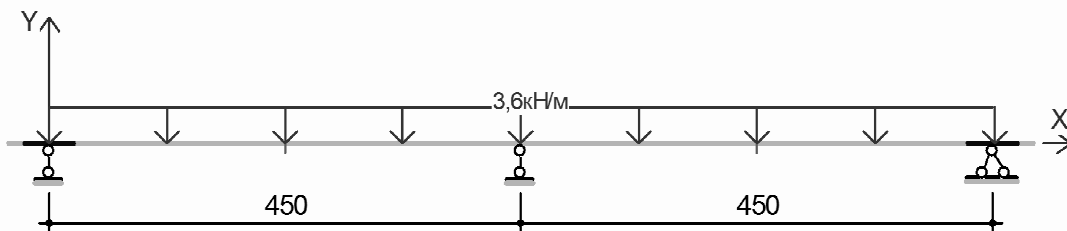
Загрузка 1

Наименование: Вес покрытия
Тип нагрузки: Постоянная



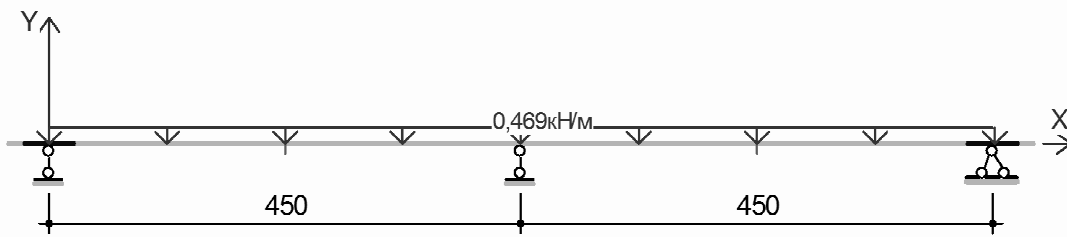
Загрузка 2

Наименование: Снег (1)
Тип нагрузки: Кратковременная



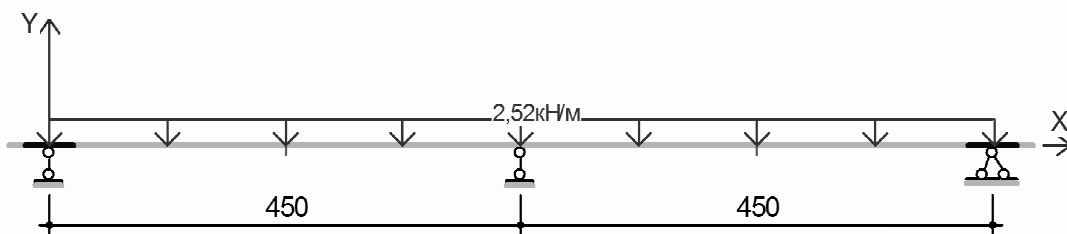
Загрузка 3

Наименование: Вес перекрытия
 Тип нагрузки: Постоянная



Загрузка 4

Наименование: Снег (2)
 Тип нагрузки: Кратковременная



Сочетания
нагрузок:

Сочетание 1

Наименование:

Состав: CO1: + 1*L1 + 1*L2

| № загрузки | Тип нагрузки | Коэф-т сочетаний |
|------------|-----------------|------------------|
| 1 | Постоянная | 1 |
| 2 | Кратковременная | 1 |

Группа предельных состояний: 1

Сочетание 2

Наименование:

Состав: CO2: + 1*L3 + 1*L4

| № загрузки | Тип нагрузки | Коэф-т сочетаний |
|------------|-----------------|------------------|
| 3 | Постоянная | 1 |
| 4 | Кратковременная | 1 |

Группа предельных состояний: 2

Расчет: Сочетание 1

Проверка прочности по нормальным напряжениям

Напряжения:

раскрепленный (верхний) пояс

$$\sigma = \frac{N}{A_{eff}} + \frac{M_x}{W_{xeff}}$$

свободный (нижний) пояс

$$\sigma = \frac{N}{A_{eff}} + \frac{M_x}{W_{xeff}} + \frac{M_{fyEd}}{W_{fy}}$$

$$\frac{|\sigma_{max}|}{R_y \gamma_c} \leq 1$$

| | | | | |
|--|----------------|---------|------------------------|-----------|
| Максимальное значение напряжений | σ_{max} | -28,154 | кН/ см ² | |
| Расчётное сопротивление стали | R_y | 33,00 | кН/ см ² | |
| Коэффициент условий работы для расчетов на прочность | γ_c | 1,00 | | |
| 0,853 < 1 | | | | OK |

Проверка устойчивости свободного пояса по п.10.1.4.2 EC3-1-3

$$\frac{1}{\chi_{LT}} \left(\frac{M_x}{W_{effx}} + \frac{N}{A_{eff}} \right) + \frac{M_{fyEd}}{W_{fy}} \leq R_y \gamma_c \quad (10.7)$$

| | | | | |
|---|------------|------|--|-----------|
| Коэффициент условий работы для расчетов на устойчивость | γ_c | 1,00 | | |
| 29,74 < 33,00 | | | | OK |
| 31,46 < 33,00 | | | | OK |
| 31,46 < 33,00 | | | | OK |
| 29,74 < 33,00 | | | | OK |

Проверка несущей способности на сдвиг по п.6.1.5 EC3-1-3

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$V_{b,Rd} = h_w t f_{bv} \gamma_c$$

| | | | | |
|---|-------------------|--------|--------------------|-----------|
| Условная гибкость стенки | $\bar{\lambda}_w$ | 0,746 | | |
| Критическое напряжение при сдвиге | f_{bv} | 19,140 | кН/см ² | |
| Расчётная поперечная сила V_{Ed} | | | | |
| 9,273 | 8,366 | 8,866 | 8,366 | 9,273 |
| Несущая способность сечения на сдвиг $V_{b,Rd}$ | | | | |
| 129,482 | 64,741 | 64,74 | 64,741 | 129,482 |
| $\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}}$ | | | | |
| 0,072 | 0,129 | 0,137 | 0,129 | 0,072 |
| | | | | OK |

Проверка прогибов

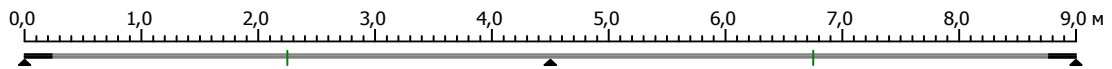
$$f_{max} \leq \frac{f_u}{\gamma_n}$$

| | | | |
|---|------------|------|-----------|
| Максимальный прогиб | f_{max} | 6,2 | мм |
| Предельный прогиб | f_u | 25,7 | мм |
| Коэффициент надежности по ответственности | γ_n | 1,00 | |
| | 6,2 | < | 25,7 |
| | | | OK |

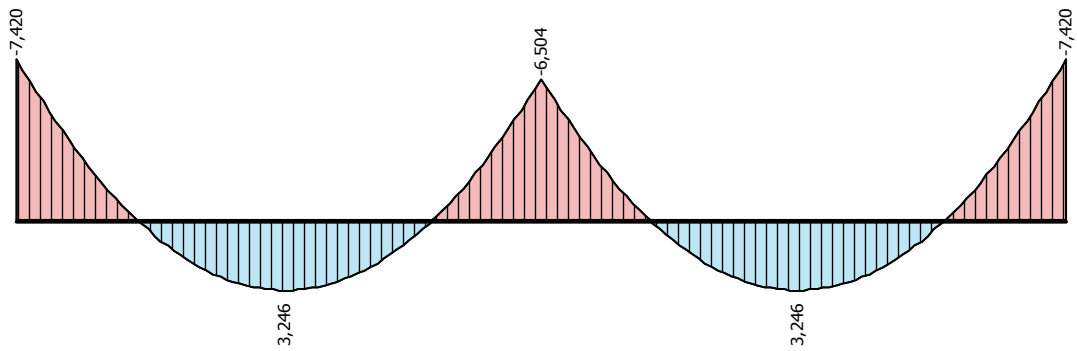
Построение эпюр:

Сочетание 1

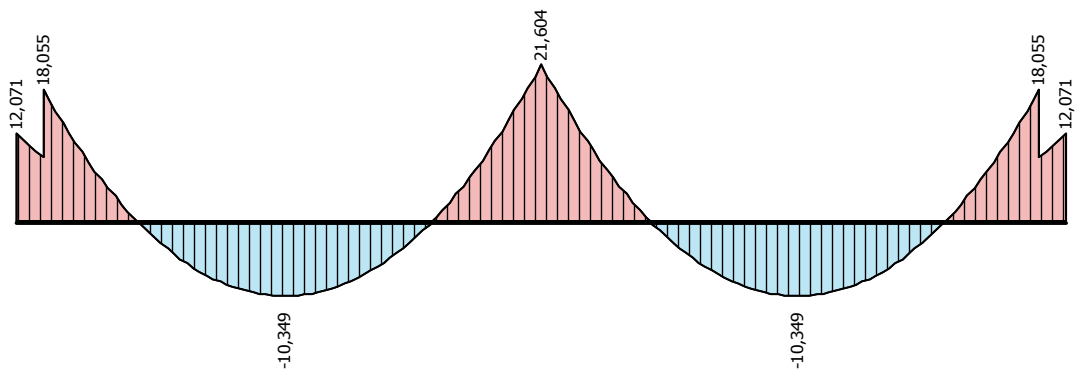
Состав: CO1: + 1*L1 + 1*L2



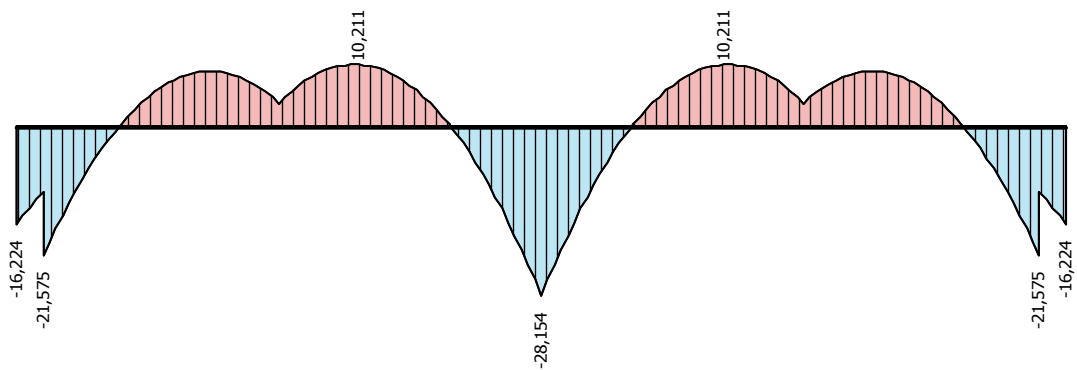
Изгибающий момент в плоскости стенки:



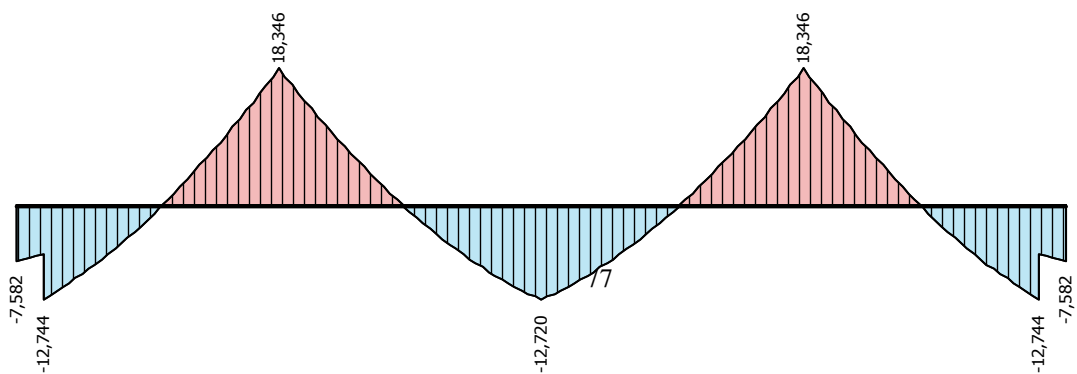
Нормальные напряжения в точке 1:



Нормальные напряжения в точке 3:



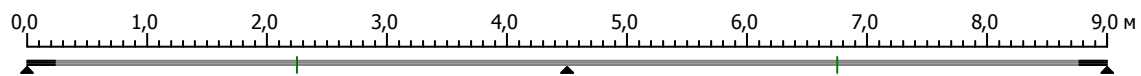
Нормальные напряжения в точке 4:



Сочетание 2

Наименование:

Состав: CO2: + 1*L3 + 1*L4



Деформации (прогибы):

