

Н.И.Ватин, Е.Н.Попова

**Термопрофиль в легких стальных строительных
конструкциях**

Санкт-Петербург – 2006

Оглавление

Введение	4
1. Обзор литературы, постановка задачи исследования	4
1.1. История развития металлических конструкций	4
1.2. Элементы, характеристики, применение, и требования к металлическим конструкциям 7	7
1.2.1. Преимущества металлических (стальных) конструкций	7
1.2.2. Недостатки металлических конструкций.	7
1.2.3. Применение металлических конструкций.....	8
1.2.4. Требования, предъявляемые к металлическим конструкциям.	8
1.3. Современная ситуация на рынке металлопродукции в России, перспективы развития. 9	9
1.3.1. Доля России в мировой металлургии:	9
1.3.2. Перспективы увеличения внутреннего металлопотребления до 2010 года:	10
1.3.3. Основные направления развития металлургии до 2010 года и ее научно- техническое обеспечение:	10
1.4. История развития и особенности легких стальных тонкостенных конструкций	12
1.4.1. Развитие технологии строительства из холодногнутых тонкостенных стальных профилей в России.....	12
1.4.2. Применение стальных тонкостенных профилей.....	13
1.4.3. Каркасные здания из легких металлических конструкций	16
1.4.4. Достоинства каркасов из легких металлических конструкций легких стальных тонкостенных конструкций	16
1.4.5. Преимущества использования металлокаркаса из легких оцинкованных профилей в качестве несущих конструкций здания	19
1.5. Производство легких металлических конструкций в Санкт-Петербурге	19
1.5.1. Расчетные сопротивления материала профиля.....	20
1.5.2. Типоразмеры профилей, выпускаемые компанией ООО «Балтпрофиль»	21
1.5.3. Технология монтажа тонкостенных холоднокатаных стальных горячеоцинкованных профилей при возведении зданий и сооружений различного назначения. .23	23
1.6. Особенности расчета тонкостенных стержней.....	26
1.6.1. Понятие тонкостенных стержней.....	26
1.6.2. Неприменимость принципа Сен-Венана.....	28
1.6.3. Растяжение тонкостенного стержня.....	28
1.6.4. Изгиб тонкостенного стержня	30
1.6.5. Кручения тонкостенного стержня	32
1.6.6. Исследование прочности несущих балок.....	32
1.6.7. Стесненное кручение тонкостенного стержня открытого профиля.....	41
1.6.8. Общий случай нагружения тонкостенного стержня. Бимомент.....	42
1.6.9. Нормативные документы по проектированию и расчету тонкостенных профилей 43	43
1.6.10. Рекомендации по проектированию конструкций каркаса из холодногнутых стальных оцинкованных профилей	43
1.7. Автоматизация проектирования зданий и сооружений из легких холодногнутых стальных профилей.	44
1.8. Выводы по главе. Постановка задачи исследования.	45
2. Влияние перфорации на прочностные характеристики стержня из тонкостенного профиля 46	46
2.1. Модель стержня в общей параметрической модели здания.	46
2.2. Характеристики профиля	46
2.2.1. Геометрия профиля.....	46
2.2.2. Сопротивления материала профиля	47
2.2.3. Жесткостные характеристики стержня	48
2.3. Влияние просечек (термощелей) на геометрические характеристики сечения стержня 48	48
2.3.1. Профили без просечек (сплошного сечения).....	50
2.3.2. Профили с просечками (термопрофили).....	52
2.3.3. Сравнение результатов расчета стержня с просечками и без просечек.....	57
3. Моделирование стержня в программе СКАД для анализа возникающих перемещений...57	57
3.1. Характеристики стержня.....	57
3.1.1. Показатели нагрузки, приложенной к стержню.	57
3.1.2. Способ закрепления торца	58

3.2.	Стержневая модель элемента	58
3.3.	Оболочечная модель элемента	59
3.4.	Расчет типовой конструкции	60
3.5.	Результаты исследования модели-стерженья	60
Заключение		62
Список использованных источников		63

Введение

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. В связи с техническим прогрессом, появились новые технологии строительства и спрос на новые виды продукции. В силу того, что природные ресурсы – не возобновляемый источник материалов, ограничены появилась необходимость в большей их экономии, что породило привело к новым видам выпускаемой металлической продукции.

За последние годы в нашей стране существенно изменились архитектурно-конструктивные решения и технология строительства зданий, увеличился спрос на выпускаемую металлическую продукцию. Все это обусловило необходимость изучения новой технологии строительства из тонкостенных металлических профилей и освоения новых методик расчета и проектирования конструкций из легких металлических профилей.

1. Обзор литературы, постановка задачи исследования

1.1. История развития металлических конструкций

Металлические конструкции прошли достаточно длительный путь развития.

Несущие металлические строительные конструкции применялись уже в XVII в.; однако отдельные металлические детали (связи, затяжки) использовались значительно раньше в каменных конструкциях. Первыми, достаточно достоверными по времени своего сооружения, строительными металлическими конструкциями в нашей стране являются перекрытия над трапезной Троице - Сергиевского монастыря (г. Сергиев - Посад), датируемые 1686-1696 гг.

В XVIII столетии металлические конструкции применялись в России неоднократно как в гражданском строительстве (например, перекрытие крыльца Невьяновской башни на Урале, сооруженное в 1725 г.), так и в церковном (перекрытия куполов в церквях). Однако как в России, так и за рубежом применение металлических конструкций в строительстве было в XVIII столетии весьма ограничено. Запросы строительства были еще примитивны, дорожная сеть не развита. Широкому распространению металлоконструкций препятствовали к тому же слабое развитие металлургии, недостаток черного металла, а также неразработанность отсутствие способов соединений.

Основным материалом металлических конструкций того времени был чугун. Первый чугунный мост пролетом 30 м был построен в Англии в 1776-1779 гг. Пять лет спустя, в 1784 г., в России были построены чугунные мосты в Царском селе. Первый чугунный мост за рубежом на континенте Европа был сооружен в 1796 г. В дальнейшем чугунные мосты получили достаточно широкое распространение как за рубежом, так и у нас. В Петербурге первый чугунный мост был построен в 1807 г.; чугунные мосты были сооружены в Москве (Высокопьятницкий мост на месте современного Чугунного моста) и в других местах.

При строительстве промышленных и гражданских сооружений в начале XIX в. также применялся чугун. Исключительным по смелости и правильности оптимальности инженерного решения является грандиозный внутренний конический чугунный купол-оболочка Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге, сооруженный в 40-х годах XIX столетия и несущий в своем ключе всю тяжесть верхнего каменного барабана.

В промышленном строительстве чугун нашел широкое применение в каркасах многоэтажных фабричных зданий, на многочисленных фабриках текстильной промышленности, построенных в России в середине и в конце XIX столетия. Широко применялся чугун также в стропильных фермах треугольного очертания, форма которых была заимствована из уже разработанных к тому времени деревянных стропил. Эффективности таких ферм, в которых сжатые элементы были сделаны из чугуна, а растянутые - из железных тяг с проушинами для болтов, привела к тому, что эта конструктивная форма удовлетворяла запросам гражданского строительства в течение всего XIX столетия.

Наряду с чугуном применялось и сварочное железо. Получение сварочного железа путем пудлингования относится к концу XVIII в., но пудлингование как промышленный процесс развилось только столетием позже.

Промышленная революция конца XVIII и начала XIX столетий, приведшая к расцвету капитализма и промышленного строительства, а также развитие железных дорог стимулировали применение сварочного железа, значительно более удобного для использования в конструкциях, чем чугун. Однако в первое время отсутствие разработанного процесса клепки, а также профильного проката сильно затрудняло распространение железных конструкций.

Полосовой прокат применялся в России еще в начале XVIII столетия, но профильный появился только в начале XIX в., а механическая пробивка отверстий (бойком) впервые была применена в Туле в 1820 г., после чего началось применение заклепочных соединений в железных строительных конструкциях. Одним из первых перекрытий, где применены клепаные железные конструкции, является перекрытие верфи на Галерном Острове в Петербурге, сооруженное в начале 30-х годов XIX столетия.

Широкое применение сварочное железо получило при постройке железнодорожных мостов: в 1853 г. в России инженером С.В. Кербедзем был построен первый большой железный мост через реку Лугу на Петербургско - Варшавской железной дороге, просуществовавший 90 лет до его разрушения во время Великой Отечественной войны; в 1861 г. был построен мост через реку Неман в г. Ковно со сплошными железными клепаными балками, высотой около 7 м; в 1852 г. было начато сооружение железного арочного моста в Москве (бывшего Каменного), по видимому, первого железного арочного моста, прослужившего до 1938 г.

Развитие в России тяжелых стальных (железных) конструкций в мостостроении, приведшее к развитию стальных конструкций в других областях, связано с именами российских инженеров: С.В. Кербедза, Н.А. Белелюбского и Л.Д. Проскурякова. Инженер С.В. Кербедз (1810-1899 гг.), построивший первый в России железный мост через реку Лугу, применил для этого моста сквозные решетчатые фермы; идея применения железных решетчатых ферм принадлежит знаменитому И.П. Кулибину, предложившему в 1813 г. Проект пересечения реки Невы в Петербурге трехпролетным железным арочным мостом со сквозными фермами пролетом по 80 м. Разрабатывая конструкции Лужского моста, инженер Кербедз впервые правильно оформил сжатый стержень, придав ему жесткий профиль и снабдив соединительными решетками (в соответствии с работой сжатого стержня на продольный изгиб), чем значительно опередил свою эпоху; проектируя Николаевский мост в Петербурге, он довел до совершенства конструкцию чугунного арочного моста.

Профессор Н.А. Белелюбский (1848-1922 гг.) начал свою инженерную деятельность в 1870-х гг. Он значительно улучшил конструкцию мостовых ферм, применив раскосную решетку. По проектам профессора Н.А. Белелюбского осуществлено большое количество мостов, из которых самыми значительными являются Сызранский мост через реку Волгу (1879 г.) и мосты Сибирской железной дороги. Профессор Н.А. Белелюбский усовершенствовал мостовую ферму, придав ей наивыгоднейшее очертание оптимальную конфигурацию с точки зрения расхода материала; кроме того, он усовершенствовал конструкцию узлов ферм, примыкания к фермам проезжей части и другие элементы моста. Н.А. Белелюбский известен также как создатель российского метрического сортамента прокатных профилей металла. Большую работу он провел в области углубления приемов методик испытаний строительных материалов, в том числе и стали. Организованная им лаборатория испытаний строительных материалов при Институте инженеров путей сообщения в Петербурге разработала методику испытаний материалов, положенную в основу наших норм. Кроме того, профессор Н.А. Белелюбский известен и как теоретик: составленный им курс строительной механики был первым российским курсом по этой дисциплине.

Младший современник профессора Н.А. Белелюбского профессор Л.Д. Проскуряков (1858-1926 гг.) развил положения об наивыгоднейшем очертании оптимальной форме сквозной стальной фермы. При проектировании Енисейского моста (1896 г.), непревзойденного по легкости и получившего всеобщее признание на Всемирной Парижской выставке в 1900 г. (где он был удостоен золотой медали), профессор Л.Д. Проскуряков реализовал свои идеи, которые он в дальнейшем применял при проектировании ряда других мостов. Он ввел треугольную решетку ферм. Большую работу провел Л.Д. Проскуряков в области теории сооружений; его курс «Строительная механика» по четкости и ясности изложения долгое время занимал ведущее место.

С середины 1880-х годов в России, ранее чем в других странах, началась по инициативе профессора Белелюбского замена в конструкциях сварочного железа литым; это мероприятие позволило значительно увеличить надежность сооружений и уменьшить их стоимость.

Гражданские металлические конструкции в течение XIX и начала XX столетия развивались весьма медленно; основной их формой была стропильная ферма, сначала чугунно-железная, затем железная (стальная).

Конструкции одноэтажных промышленных цехов того времени характеризуются наличием одних лишь железных покрытий перекрытий, при этом даже в самом конце XIX столетия пролеты их обычно были незначительны - порядка 10-20 м. В самом конце XIX в. появились электрические мостовые краны; однако вначале они не повлияли на конструктивную форму цехов, поскольку краны ставились устанавливались на специальные внутренние эстакады.

Лишь в начале XX в. подкрановые балки стали располагать на металлических колоннах и появилась поперечная рама, что обусловило более резкое отличие конструкций промышленных зданий от конструкций гражданских.

Переход на новые типы перекрытий в конце XIX и начале XX века связан с именами Ф.С. Ясинского, В.Г. Шухова и И.П. Прокофьева.

Профессор Ф.С. Ясинский (1856-1899 гг.) известен как исследователь продольного изгиба; кроме того, он известен также как инженер-строитель: в середине 1890-х годов он существенно улучшил конструктивную форму перекрытий промышленных зданий (в то время еще не имевших кранового оборудования). Профессор Ф.С. Ясинский был основоположником большепролетных перекрытий; он первый перешел к трехпролетным цехам, разделенным двумя рядами металлических колонн (по контуру здания сохранялись кирпичные стены). Покрытие компоновалось из двух одноконсольных ферм, по концам которых (в среднем пролете) помещался продольный фонарь. Малый вес и незначительное давление на стены, а также достаточные габариты были несомненными достоинствами такого конструктивного решения.

Профессору Ф.С. Ясинскому принадлежит также применение впервые складчатых конструкций в виде треугольных складок, опирающихся на торцевые фермы. Этой конструкцией профессор Ф.С. Ясинский заменил применявшиеся в то время так называемые шедовые перекрытия, в которых каждая ферма опирается на отдельные опоры и поэтому имеет небольшой пролет.

Особенно многообразна была инженерная деятельность почетного академика В.Г. Шухова (1853-1939 гг.).

В области покрытий академик В.Г. Шухов развивал идеи пространственных покрытий, намного опередив этим свою эпоху, и положил начало сквозным металлическим оболочкам. Конструкции, разработанные академиком В.Г. Шуховым, отличаются исключительным разнообразием и оригинальностью. Для покрытий промышленных зданий он применил оболочки двоякой кривизны и тем самым утвердил приоритет России в этой области; он широко применял висячие решетчатые покрытия, расчет и конструкция которых основаны на использовании свойств линейчатых поверхностей; покрытия в виде висячих решетчатых систем позволяют оригинально решать интерьеры. Весьма эффективная конструкция покрытия здания ГУМ в Москве была осуществлена академиком В.Г. Шуховым в виде легких арочных стропил, устойчивость которых обеспечивается веерообразным расположением затяжек. Академик В.Г. Шухов много сделал и для улучшения обычных конструкций промышленных зданий; так, он увеличил шаг колонн и ввел подстропильные фермы. В гражданском строительстве он ввел металлические конструкции в каркас здания; ему же принадлежит арочное перекрытие Брянского (ныне Киевского) вокзала в Москве.

Особенно много дал академик В.Г. Шухов в области резервуаров и других листовых конструкций. Можно сказать, что все конструкции российских резервуаров, их оснований, методика их расчета и их экономика базируются на работах В.Г. Шухова.

Наконец, академиком В.Г. Шуховым были созданы гиперболические решетчатые водонапорные башни, башни для маяков и других высотных сооружений; эти конструкции, крайне легкие и простые в изготовлении, впервые появились в России.

Кроме строительных конструкций, академик В.Г. Шухов успешно работал в области котлостроения, сооружений нефтяной промышленности, судостроения и других областях, где применяются специальные виды металлических конструкций.

Профессор И.П. Прокофьев развил идеи профессора Ф.С. Ясинского в ряде большепролетных покрытий (Муромские и Перовские мастерские Московско-Казанской железной дороги) и провел большую работу по объединению опыта изготовления и монтажа металлических конструкций; его книга «Железные мосты. Обработка, сборка и установка» (1911 г.) была первым руководством в этой области.

Им спроектированы, оставшиеся неосуществленными, перекрытия путей Казанского вокзала в Москве пролетом 76 м. Исследования профессора И.П. Прокофьева в области испытания строительных материалов и теории сооружений являются ценным вкладом в отечественную науку.

1.2. Элементы, характеристики, применение, и требования к металлическим конструкциям

Металлические (стальные) конструкции состоят из отдельных элементов: балок, ферм, колонн, оболочек и пр., т.е. из стержней и пластинок, изготавливаемых из наиболее прочного и однородного материала - стали, и соединяемых друг с другом сваркой, болтами, самонарезающими винтами или заклепками в конструктивные комплексы (каркасы и перекрытия зданий и сооружений, башни и мачты, мосты, резервуары), отвечающие назначению сооружения.

1.2.1. Преимущества металлических (стальных) конструкций

Стальные конструкции являются наиболее надежными, так как сталь благодаря однородности своей структуры и большому модулю упругости ($E=2\ 100\ 000$ кг/кв. см) полностью отвечает представлениям об изотропном теле, на которых основываются расчеты.

Поэтому стальные конструкции рассчитываются наиболее точно, что создает полную уверенность в надежности их работы. В связи с этим наиболее ответственные сооружения чаще всего выполняются из стали.

Стальные (металлические) конструкции являются конструкциями наиболее легкими по сравнению с конструкциями из камня, железобетона и дерева, так как высокие механические качества стали позволяют развивать в стальных конструкциях наиболее высокие напряжения. За измеритель показатель значения веса в работе материала обычно принимается отношение удельного веса материала к допускаемому напряжению; несмотря на большой удельный вес стали, этот показатель для стальных конструкций выражается наименьшим числом $C=5 \cdot 10^{-4}$ (1/м), в то время как для дерева $C=6 \cdot 10^{-4}$ (1/м), а для бетона $C=4 \cdot 10^{-3}$ (1/м). Таким образом стальные (металлические) конструкции требуют наименьших размеров для передачи данного одинакового силового воздействия и являются поэтому самыми оптимальными транспортабельными.

Металлические конструкции являются наиболее сборными, так как при изготовлении они расчленяются на отдельные элементы (балки, фермы, колонны и т.п.), которые соединяют на месте постройки при помощи сваркой, болтами, самонарезающими винтами или заклепками сварки, заклепок для болтов. Разнообразие и технологичность этих видов соединений дает возможность производить сборку металлических конструкций очень быстро высокими темпами.

1.2.2. Недостатки металлических конструкций.

Стальные конструкции подвергаются коррозии (ржавлению); сталь под влиянием агрессивных факторов атмосферы (влаги, наличия в атмосфере солей и газов) может превратиться в окислы железа, ржавчину, и потерять способность сопротивляться механическим воздействиям.

Вследствие этого металлические конструкции требуют защиты (окраски, цинкового покрытия), специального ухода (очистки) и специально конструктивной формы (отсутствие щелей, впадин, пазух и т.д., в которых могла бы развиваться коррозия); эксплуатация стальных металлоконструкций дороже эксплуатации железобетонных и каменных конструкций.

1.2.3. Применение металлических конструкций.

Металлические конструкции применяются в основном:

- в каркасах промышленных зданий, в первую очередь в тяжелых каркасах из силовых горячекатаных профилей зданий черной металлургии, характеризующихся большими нагрузками и достаточно большими пролетами; кроме того, металлоконструкции при достаточной высоте и пролетах каркасов легких цехов вследствие быстроты возведения;
 - для строительства быстровозводимых малогабаритных до 4 этажей коммерческих объектов (складов, СТО, автозаправочных станций, автомоек, торговых павильонов, мотелей и т.п.)
- в конструкциях перекрытий, опирающихся на стены, колонны или столбы; эти конструкции представляют собой при больших пролетах - сплошные фермы, при меньших - сплошные балки, главные и вспомогательные, образующие балочную клетку для поддержания настила перекрытия;
- в каркасах специальных зданий (ангаров, выставочных павильонов и пр.), основой которых является балочное, или арочное или купольное сложное перекрытие (павильон «Космос» на ВВЦ в Москве);
- в конструкциях гражданских высотных зданий; эти конструкции состоят из многоярусных колонн, поддерживающих балки междуэтажных перекрытий, и связей между колоннами;
- в конструкциях сооружений, служащих для хранения сыпучих тел, жидкостей или газов или для сопротивления жидкостям и газам препятствием для их перемещения (бункеры, резервуары, газгольдеры, гидротехнические конструкции, домы и сооружения доменного хозяйства и др.); основой этих конструкций является тонкая обшивка из стальных листов; поэтому они называются листовыми конструкциями;
- в конструкциях высоких сооружений, башен и мачт (радиомачт, опор электропередач и пр.);
- в мостовых и крановых конструкциях; в соответствии с большими пролетами, тяжелой нагрузкой и ответственностью сооружения применение стали существенно уменьшает вес этих конструкций, облегчает возведение и увеличивает надежность их работы эксплуатации.

1.2.4. Требования, предъявляемые к металлическим конструкциям.

К металлическим конструкциям предъявляются следующие требования:

- прочность и надежность конструкции;
- долговечность конструкции;
- соответствие конструкции назначению и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к сооружению или зданию, и долговечность конструкции;
- низкая материалоемкость возможно меньшая затрата материала;
- максимальная возможно большая скорость возведения;
- минимальная трудоемкость возможно меньшая затрата труда (времени) на изготовления конструкции;
- малый вес;
- эстетика.

Все неотъемлемой частью этих требований является соблюдение объединяются в требования высокого качества. Капитальность сооружения характеризуется долговечностью, прочностью применяемых материалов и их стойкостью против внешних агрессивных воздействий, а также количеством ремонтов, необходимых для поддержания долговечности; эксплуатационные качества характеризуются приспособленностью сооружения к выполнению своего назначения. Требования к конструкциям непосредственно связаны с требованиями к сооружениям, элементами которых эти конструкции являются, хотя и имеют свои специфические особенности.

В частности, для стальных конструкций специфичным и особенно важным является требование экономии стали. Существенную роль в этом играет правильное установление коэффициентов запаса, а также расчетных сопротивлений, правильная компоновка схемы

сооружения и его деталей, использование менее трудоемких операций (сварки вместо клепки, кислородной резки).

1.3. Современная ситуация на рынке металлопродукции в России, перспективы развития.

1.3.1. Доля России в мировой металлургии:

В современных условиях международного разделения труда, одной из отраслей специализации России является национальная металлургическая промышленность. Продукция российской металлургии составляет значительную долю в мировом производстве и торговле металлами. В 2001 году в России было произведено 59 млн.т стали или 7% мирового выпуска (4 место в мире). При этом из общего объема производства проката черных металлов экспортировалось 55%, что составляет 26 млн.т или около 10% мировой торговли (1 место в мире). Доля России в мировом производстве шести основных видов цветных металлов (алюминий, никель, медь, цинк, свинец, олово) составляет около 8,5%. На экспорт поставляется около 80% от общего производства основных цветных металлов и 70% редких металлов. Таким образом, отечественная металлургия функционирует в общей системе мировых хозяйственных связей, и ее состояние в значительной степени зависит от тенденций развития мировой металлургии. Основным направлением развития международных экономических отношений на рубеже 20 и 21 веков стала глобализация экономики, которая в полной мере проявилась в металлургической промышленности. Международные хозяйственные связи превратились в инструмент перераспределения ресурсов и повышения эффективности производства в глобальном масштабе. Это привело к развитию следующих тенденций в мировой металлургии:

- усилению роли крупных интегрированных компаний на мировых рынках;
- обострению конкуренции на рынках продукции с высокой добавленной стоимостью и распространению применения национальных защитных мер во внешней торговле;
- активизации работ по снижению затрат производства металлопродукции, при этом наиболее затратные виды производств переносятся в страны, обладающие наиболее дешевыми природными и энергетическими ресурсами, рабочей силой, обеспечивающие минимальные налоговые и транспортные издержки.

Мировые тенденции определяют проблемы отечественной металлургии на внешних рынках. Российские предприятия вытесняются с рынков металлопродукции с высокой добавленной стоимостью с использованием различных тарифных и нетарифных ограничений. В экспорте черной металлургии сырье и полуфабрикаты (руда, лом, кокс, чугун, слитки, заготовки, слябы) составляют более 60%. В экспорте цветной металлургии 80% приходится на основные первичные металлы, и только 10% на продукцию более высоких переделов (прокат и другие металлоизделия). В результате действия этого фактора уровень загрузки мощностей по производству конечной металлопродукции (труб, проката) существенно ниже по сравнению с уровнем для металлопродукции более низких переделов (руда, чугун, заготовка и первичные металлы).

Вместе с тем, на рынках металлопродукции низких переделов российские предприятия испытывают усиливающееся давление со стороны третьих стран (в первую очередь Китая, Индии, Бразилии и др.). Это вызвано тем, что обладая низкими затратами производства и высококачественной рудной базой, эти страны сумели привлечь значительные иностранные инвестиции для создания современной металлургической промышленности.

Таким образом, сегодня российская металлургическая промышленность функционирует в условиях глобальной конкуренции на мировом рынке. Поэтому важнейшим направлением государственной промышленной политики в отношении металлургии на современном этапе является создание таких общих условий для работы предприятий отрасли, которые бы соответствовали условиям развития металлургии в странах - крупнейших участниках мирового рынка металлов. В контексте этой задачи обеспечение конкурентоспособности металлургической промышленности России на мировом рынке предполагает реализацию ряда государственных мер в области налоговой, таможенной и тарифной политики, а также внешней торговли.

Второе важное направление государственной промышленной политики в отношении металлургии связано с осуществлением специальных мер, направленных на

стимулирование прогрессивных структурных изменений в металлургической промышленности. В этих целях целесообразно реализовать меры по расширению внутреннего спроса на металлопродукцию, по активизации инновационной деятельности в металлургии, по реструктуризации предприятий и решению социальных проблем.

1.3.2. Перспективы увеличения внутреннего металлопотребления до 2010 года:

Учитывая ограничения на внешних рынках, перспективы развития российской металлургии в период до 2010 года связаны, в первую очередь, с расширением спроса на ее продукцию на внутреннем рынке. Однако темпы роста внутреннего металлопотребления замедляются. В связи с прогнозируемым замедлением темпов роста экономики в 2002 году темпы роста металлопотребления также снизятся до 4-6% для черных металлов и до 5-8% для цветных металлов. Кроме того, в условиях ухудшения ситуации на мировом рынке существует опасность демпинговых поставок на российский рынок импортной металлопродукции.

В этих современных рыночных условиях целесообразно реализовать комплекс мер по защите отечественных производителей на внутреннем рынке металлов, используя при этом распространенные в международной практике инструменты государственного регулирования. В первую очередь, необходимо расширить практику применения тарифных и нетарифных мер для сокращения объемов необоснованного импорта металлопродукции; причем большое значение имеет оперативность применения этих мер в соответствии с изменениями рыночной конъюнктуры. Также необходимо обеспечить равный доступ отечественных производителей к получению заказов на поставку металлопродукции при формировании программ модернизации железнодорожного транспорта, электроэнергетики и газовой промышленности.

Учитывая, что в ближайшие 10 лет в проекты на условиях соглашений о разделе продукции по оценкам будет инвестировано до 100 млрд. долларов, чрезвычайно важно завершить формирование нормативно-правовой базы по обеспечению предусмотренной законом доли участия российских металлургических предприятий в подрядных работах при реализации этих проектов.

Важнейшими факторами оживления внутреннего рынка металлов являются настоятельная необходимость обновления основных фондов практически во всех отраслях экономики и рост производства и инвестиций в основных металлопотребляющих отраслях - машиностроении, строительстве и ТЭКе. Сегодня Россия значительно отстает от основных промышленно-развитых стран по уровню душевого потребления металлопродукции из черных металлов, который составил в 2001 году 154 кг/чел, в то время как в Японии, США, Европе - 350-550 кг/чел. В соответствии с прогнозами макропоказателей и стратегиями развития отдельных отраслей экономики ожидается рост емкости внутреннего рынка металлопродукции из черных металлов до 26,5 млн. т в 2005 году и 32-33 млн. т в 2010 году. Таким образом, прирост металлопотребления по сравнению с 2001 годом составит соответственно 20 и 45%. Сохранится тенденция прогрессивных изменений в сортовой структуре потребления готового проката из черных металлов в сторону увеличения доли листового проката, труб, метизов.

1.3.3. Основные направления развития металлургии до 2010 года и ее научно-техническое обеспечение:

Перспективы развития рынков металлопродукции и факторы, влияющие на конкурентоспособность отечественной металлургии, определяют основные направления развития металлургической промышленности в период до 2010 года. Главной целью развития металлургической промышленности России в период до 2010 года является обеспечение требуемых по номенклатуре, качеству и объемам поставок конкурентоспособной продукции на внутренней и внешней рынки. Основной путь реализации главной цели - широкое и ускоренное внедрение инноваций в результате активизации инвестиционной деятельности на всех производственных переделах. Усиление инновационно-инвестиционной деятельности ослабит негативное влияние факторов, ограничивающих развитие предприятий, обеспечит кардинальное обновление

производственного потенциала, выпуск традиционных и новых видов продукции при снижении расхода всех видов ресурсов и соблюдении норм по охране окружающей среды.

На базе ускорения темпов внедрения инноваций должна быть улучшена производственная структура металлургического комплекса - в первую очередь, за счет повышения доли конкурентоспособных мощностей (на всех переделах), а также за счет увеличения доли мощностей для выпуска продукции более глубокой степени переработки, доли импортозамещающих и новых производств. Это позволит улучшить структуру товарной продукции металлургической промышленности, повысить ее конкурентоспособность и адекватность требованиям рынков.

Доля производства стали в конвертерах должна к 2010 г. составить 68%, в электропечах - 28%. Мартеновское производство на предприятиях черной металлургии практически ликвидируется, однако оно может сохраниться на неспециализированных предприятиях других отраслей. Доля разливки стали на МНЛЗ должна быть не ниже 78-80%. Такое изменение структуры производства стали соответствует мировым тенденциям.

В производстве тяжелых цветных металлов необходимо шире внедрять автогенные процессы. Доля меди, произведенной с использованием автогенных процессов, должна быть увеличена до 80-85%, никеля - 65-70%. В производстве алюминия долю металла, полученного в усовершенствованных электролизерах с предварительно обожженными анодами и по технологии «сухой» и «полусухой» анод, необходимо довести до 75-80%, а также расширить мощности литейно-прокатных производств и сортамент выпускаемых изделий. В цветной металлургии следует шире использовать более экологически чистые гидрометаллургические процессы, обеспечивающие, помимо снижения выбросов вредных веществ, вовлечение в производство низкокачественных промпродуктов и повышение комплексности использования сырья.

Рост производительности труда в металлургической промышленности оценивается в 2010 году по сравнению с 2000 годом не менее чем в 1,5 раза. При этом ожидается высвобождение значительного количества трудящихся. По оценке по сравнению с 2000 годом в период до 2005 года численность промышленно-производственного персонала в металлургии должна сократиться примерно на 7% (100 тыс. человек), а в период до 2010 года - на 25% (350 тыс. чел., из них 200 тыс. в черной и 150 тыс. в цветной). Это соответствует мировым тенденциям - за последние 20 лет количество занятых в металлургии развитых стран сократилось на 75%. Учитывая градообразующий характер большинства предприятий металлургической промышленности, проблема трудоустройства работников становится чрезвычайно острой и трудноразрешимой. В решении этой проблемы необходимо активное участие государства. Прогрессивные сдвиги в производственно-технологической структуре производства металлопродукции предполагают сдвиги в организационной сфере - дальнейшие институциональные преобразования.

Основное направление - создание мощных вертикально-интегрированных и диверсифицированных структур, способных успешно конкурировать на внутреннем и внешнем рынках металлопродукции. Целесообразна организация ограниченного количества интегрированных промышленно-финансовых компаний, управляющих деятельностью собственных и сопряженных предприятий и организаций на основе владения значительными долями пакета акций, договоров коммерческого партнерства и кредитных договоров. В настоящее время в большинстве подотраслей металлургии интегрированные компании уже занимают доминирующее положение, наиболее характерно это проявилось в отношении алюминия и стали. Все показанные на слайде компании - Русский Алюминий, СУАЛ, Магнитогорский и Новолипецкий металлургические комбинаты, Северсталь, Евроазхолдинг - ведут активную политику по интеграции предприятий от добычи руды и угля до производства металлопроката и конечных металлоизделий, и даже до потребляющих металл машиностроительных предприятий. Основной мерой в области институциональных преобразований является совершенствование нормативно-правового регулирования создания и функционирования холдинговых компаний и других видов интегрированных структур.

При этом должны сохраниться и узкоспециализированные предприятия, в частности, выпускающие высокотехнологичную продукцию для спеццелей спецзаказов. Следует расширять практику создания мини-производств на базе модульных технологий для удовлетворения регионального спроса на металлопродукцию, а также специальных

«Сервис-центров», обеспечивающих поставку потребителям мелких партий продукции с высоким уровнем финишной обработки.

1.4. История развития и особенности легких стальных тонкостенных конструкций

1.4.1. Развитие технологии строительства из холодногнутых тонкостенных стальных профилей в России.

В 1980 г. в системе Минмонтажспецстроя СССР был создан Главк «Главспецлегконструкция». В задачу Главка входило проектирование, изготовление и монтаж легких строительных конструкций, включающих в себя и конструкции из холодногнутых профилей. В это время строительная отрасль государства принадлежала к числу приоритетных, находилась на подъеме и развивалась высокими темпами. Достаточно сказать, что объемы строительно-монтажных работ ежегодно возрастали на 30-40%. Для примера: в конце 80 гг. доля легких элементов в конструктивном исполнении выпускаемых строительных конструкций в среднем составляла:

Таблица 1.1

- для стен	10-15%
- для перекрытий	от 4 до 10%
- для кровли	до 15%

После распада СССР фактически распался и «Минмонтажспецстрой». Главк практически потерял контроль над заводами, проектным институтом и тем более - над монтажными организациями. Ведущие предприятия отрасли, производившие холодногнутые профили, еще какое-то время продолжали функционировать. Однако, начиная с 1994-1995 гг. с ускорением в стране темпов рыночных преобразований и появлением новых категорий собственников они окончательно ушли в глубокую тень, и в настоящее время практически не влияют на формирование и развитие рынка стальных гнутых профилей. Но наиболее пагубным явилось то, что наряду с падением производственного потенциала отрасли и потерей контроля над ее материальными и финансовыми потоками была утрачена координация в научно-технической и проектно-конструкторской сфере, деградировала система подготовки и переподготовки научных и производственных кадров, обобщения передового опыта. В отрасли нарушилась преемственность. Безнадёжно устарела система нормативно-технических документов (ГОСТы, СНИПы и т.д.). Пересмотр устаревших и негармонизированных с мировыми государственными стандартами по стальным конструкциям не финансируется. Остается открытым вопрос сертификации систем качества предприятий в соответствии с международными стандартами, принимающий особую актуальность в условиях либерализации внешнеэкономической деятельности России. Вновь образовавшиеся предприятия выпускают продукцию, востребуемую рынком, хорошего качества, но по Техническим Условиям, не всегда зарегистрированным установленным порядком в Госстандарте. Отсутствует отлаженная система пропаганды производства и применения легких металлических конструкций. Головное строительное ведомство страны - Госстрой чрезвычайно слабо влияет на эти процессы. По сути дела, в сфере производства и применения холоднокатаных стальных профилей установилось безвластие.

Вместе с тем, неоспоримы и позитивные тенденции. Благоприятная в целом конъюнктура рынка способствует улучшению финансового состояния предприятий. Многие российские заводы по производству холоднокатаных профилей получили серьезные заказы. Значительные возможности по сбыту продукции и оборудования прогнозируются в связи с возрастанием строительной активности в стране. Ряд заводов имеют неплохие перспективы выхода на внешний рынок. Совокупный финансовый, производственный и интеллектуальный потенциал российских предприятий, занятых производством стальных гнутых профилей, весьма значителен.

Для координации усилий в области производства холодногнутых профилей из листовой стали, повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции 7 июня 2001 года более 60 предприятий и организаций России, занятых в этой сфере, провели

совместную организационно-практическую конференцию. На конференцию были приглашены представители Белоруссии и Украины. По результатам конференции группой ведущих предприятий отрасли было принято принципиальное решение об учреждении некоммерческой организации - Национальной Ассоциации Производителей Стальных Гнутых Профилей (НАПСГП). В дальнейшем исходя из новых целей и задач, включая реализацию национальной программы «Доступное и комфортное жилье» Ассоциация была переименована во Всероссийскую Ассоциацию Металлостроителей (ВАМ). На данный момент действительными членами этой организации являются 16 предприятий, расположенных на территории России.

1.4.2. Применение стальных тонкостенных профилей.

МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Национальный проект «Доступное и комфортное жилье» еще на старте споткнулся о непреодолимый экономический барьер.

Жилищное строительство ведется почти исключительно в больших городах, а там в последние годы раскручивается пружина роста цен. Остановить этот рост административным методом невозможно. Поэтому в мае на совещании у Президента РФ было объявлено о корректировке проекта. Первый вице-премьер Медведев предложил начать коттеджное строительство в пилотных регионах, в которых власти готовы упростить передачу сельхозземель под застройку. Такими регионами стали Ленинградская, Костромская и Калужская области.

Мировая история знает немало случаев решения жилищного вопроса с помощью массового дешевого строительства.

При освоении Дикого Запада американцы первым делом завозили на место лесопилку, которая выдавала материалы для легких каркасных домиков. Канадское правительство в 1946 г. приняло специальную программу развития панельно-каркасного коттеджного строительства, в которую входило и национальное ипотечное бюро и сеть фабрик стройматериалов. Но самым блестящим опытом считается расселение правительством Финляндии 400 тыс. переселенцев из районов, отошедших к СССР после 2 мировой войны. Для них были разработаны проект каркасно-засыпного «дома фронтовика» и специальная кредитная программа.

При укрупненном расчете технико-экономических показателей строительства быстровозводимых коттеджей по технологии ЛСТК (за основу был взят 2-х этажный жилой дом мансардного типа «эконом-класса» общей площадью 127 м² с применением термопрофилей и легких балок) были получены следующие показатели:

- стоимость материалов составила 47 947\$, а работ 16 507\$, таким образом стоимость 1 кв. м. составила 508\$.

При серийном строительстве снижение общей стоимости может составить до 20%.

Несомненно технология каркасного строительства малоэтажных быстровозводимых зданий и сооружений с применением легких стальных тонкостенных конструкций позволит самым оптимальным способом реализовать национальный проект «Доступное и комфортное жилье».

Кроме того имеет очень большие перспективы внедрение на потребительском рынке услуги «Построй сам», когда покупателю с ограниченными финансовыми возможностями будет предлагаться поставка комплектов конструкций заводской готовности типовых домов различной площади для их постройки собственными силами под наблюдением при необходимости квалифицированного консультанта. Такой метод строительства применяется в странах с очень высоким жизненным уровнем, в частности в Германии, и наверняка будет востребован в нашей стране. Тем более что простота и технологичность строительства домов с применением ЛСТК по сути являющейся аналогом детского конструктора ЛЕГО доступна любому человеку с рабочими руками.

МАНСАРДЫ

В последние годы в связи с проблемой реконструкции домов, в том числе и в историческом центре Петербурга, стало активно развиваться строительство мансардных

этажей.

Легкие конструкции благодаря своим конструктивным особенностям способны решить главную проблему реконструкции старых зданий — снижению нагрузок, разрушающих стены. Благодаря легкости элементов можно отказаться от тяжелой крановой техники, вести монтаж вручную, не выселяя жильцов и не причиняя им никаких неудобств при реконструкции. Возведение мансард позволяет не просто продлить срок службы существующих зданий, преобразить их внешний облик, но и создать новые жилые и офисные площади в престижных районах, где получение площадок под новое строительство (так называемых лакун) практически исключено.

Газета «Деловой Петербург» приводит следующие цифры КУГИ СПб о потенциале этого сегмента рынка:

- 26 тыс. чердачных помещений в Петербурге может быть реконструировано под мансарды;

- Оборот рынка реконструкции мансард в Петербурге - 4 млрд рублей.

ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ В СБОРНО-МОНОЛИТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В сборно-монолитном и каркасном строительстве, объемы которого постоянно растут, в качестве эффективных и экономичных ограждающих конструкций можно использовать так называемые термопанели.

Данная технология активно развивается в странах Скандинавии и Прибалтики. В нашей стране, к сожалению, отсутствует широкий опыт применения термопанелей в качестве ограждающих конструкций при многоэтажном каркасном строительстве, хотя первые пилотные проекты с применением данной технологии реализованы в жилищном строительстве в Нижнем Новгороде, а также в Санкт-Петербурге при сооружении центра «Крайслер» на Исполкомской улице.

Основные показатели позволяют объективно оценить достоинства применения термопанелей по сравнению с традиционными методами строительства

Экономичность

В зависимости от функциональной принадлежности объекта стоимость 1 кв. м стены колеблется от 1200 до 2200 руб. Благодаря лёгкости конструкции появляется возможность отказаться от сложных фундаментов в пользу более простых. Это уменьшает расход бетона на 50-80%, трудозатраты на 40-70%, а, следовательно и стоимость фундаментов в 2-4 раза.

Легкость термопанели

Масса 1 м² стены составляет 40-53 кг при толщине 154-204 мм., а с облицовкой отделочными материалами от 57 до 200 кг в зависимости от их типа, аналогичный показатель для стен и облицовок из традиционных материалов от 300 до 1055 кг. Этот фактор позволяет существенно сократить затраты на транспортировку и грузоподъемные операции.

Экономия пространства

Уменьшенная толщина термопанели по сравнению с традиционными стеновыми материалами позволяет создавать до 7% дополнительной площади помещений здания.

Применение термопанелей является достойной альтернативной панельному домостроению без значительных инвестиций.

КОММЕРЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Вот только несколько основных сфер применения.

КАД

Как сообщил губернатор Ленобласти Валерий Сердюков, в общей сложности на торги будет выставлено четыре-пять участков площадью по 200-250 га каждый. Для областных земель, прилегающих к Кольцевой автодороге, составлены регламенты застройки. Здесь

должны быть возведены не только сервисные автоцентры, но и жилье, гостиницы, объекты торговли и сферы услуг.

СКЛАДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Складская недвижимость в Санкт-Петербурге настоящее время является одним из наиболее привлекательных сегментов для капиталовложений. Рентабельность складского бизнеса, по словам операторов, составляет 30-40%, срок окупаемости инвестиций -- 5-6 лет. До конца 2006 года в Петербурге построят 500 тысяч м² новых складов. Наиболее востребованные на рынке аренды складской недвижимости - помещения площадью 1-1,5 тыс. м². Основным арендатором таких площадей является средний и крупный бизнес. Достаточно весомую долю в спросе имеют складские помещения площадью 500-1000 м². Выдвигаются и технические требования к складам: здание должно быть прямоугольным, на каждые 500 м² - одни ворота, высота потолков - не ниже 7 м, полы - с антипылевым покрытием, а также должна иметься система принудительной вентиляции и пожаротушения. Наиболее перспективным районом для строительства логистических комплексов участники рынка считают Шушары. Кроме того, современные складские комплексы будут появляться на выездах из города у КАД.

АВТОЗАПРАВОЧНЫЕ СТАНЦИИ И АВТОМОЙКИ

По сообщению председателя комитета по строительству Романа Филимонова в этом году в городе планируется построить порядка 40 АЗС.

Только компания "ТНК-ВР" планирует за три-четыре года создать в Петербурге и области сеть из 60 АЗС. Современные станции отличаются набором дополнительных услуг: мини-автосервисы, автоматические мойки, супермаркеты, кафе и т.д. Принципы модульных конструкций позволят выполнить любые требования Заказчика.

В городе существует острая проблема – недостаток автомобильных моек при постоянно растущем парке автомобилей. Их дефицит, по данным Комитета по благоустройству и дорожному хозяйству и Комитета по строительству, составляет не менее 300 единиц.

СКОРОСТНАЯ ТРАССА МОСКВА-САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Существующая и планируемая федеральные трассы испытывают острую потребность в широкой сети закусочных и мотелей, торговых павильонов.

Долговечность и прочность конструкций, эффективность инвестиций, высокие темпы строительства, отличные технические и эксплуатационные характеристики, широкие архитектурные возможности делают очень выгодным применение технологии ЛСТК в коммерческом строительстве.

КРОВЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Проблема протекающих крыш в жилых домах должна быть закрыта к 2007 году - такое поручение дала жилищным службам губернатор Валентина Матвиенко, сообщило СПб-ТАСС 23 мая.

Губернатор отметила, что давняя петербургская проблема - сырые подвалы и протекающие крыши - создает не только неудобства для жителей домов и наносит ущерб их имуществу, но и препятствует нормальному теплоснабжению домов.

Губернатор дала указание в кратчайшие сроки определить, сколько необходимо средств на ремонт кровель, составить соответствующую программу и начать ее реализацию уже в этом году.

Стоимостные, весовые и ресурсные показатели устройства кровли с использованием легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) превосходят остальные строительные системы. Кроме того все работы проводятся без использования подъемной техники, сварочного и газорезательного оборудования (что особенно важно на зданиях старого фонда из-за их повышенной огнеопасности). **Таким образом можно сделать вывод о том, что достойной альтернативы применению кровельных систем с ЛСТК нет.**

Металлические конструкции из легких металлических профилей применяются в:

- в каркасах промышленных зданий
- в конструкциях перекрытий, опирающихся на стены, колонны или столбы;
- в каркасах специальных зданий (ангаров, выставочных павильонов и пр.), основой которых является балочное или арочное или купольное сложное перекрытие
- в конструкциях гражданских высотных зданий;
- в конструкциях сооружений, служащих для хранения сыпучих тел, жидкостей или газов или для сопротивлению жидкостей и газов (бункеры, резервуары, газгольдеры, гидротехнические конструкции, домы и сооружения доменного хозяйства и др.);
- в конструкциях высоких сооружений, башен и мачт
- в мостовых и крановых конструкциях;

1.4.3. Каркасные здания из легких металлических конструкций

Каркасные здания из легких металлических конструкций – конструктивное решение, обеспечивающее быстрое строительство промышленных, торговых и складских объектов. По выводам инвесторов, построить такое здание в конечном итоге выгоднее, чем арендовать и реконструировать старое. Сроки возведения здания из металлического каркаса в 2-3 раза меньше, чем аналогичного железобетонного.

Стоимость быстромонтируемого здания обходится в среднем на 10-15% дешевле, что объясняется экономией рабочей силы и техники (для монтажа достаточно автокрана), а также более простой конструкцией фундаментов, как правило столбчатых.

Каркас возводится из профилей, которые соединяются между собой при помощи болтов. Стеновое заполнение - утепленный минеральной ватой профилированный настил, сэндвич-панели или стеклопакеты, кровля – профилированный настил или металлочерепица.

Основным элементом технологии является холоднокатаный термопрофиль из тонкого оцинкованного листа, который может быть использован как для сборки цельного каркаса здания так и для монтажа отдельных элементов реконструируемых или вновь строящихся объектов: наружных и внутренних стен, перегородок, междуэтажных перекрытий, стропильных конструкций мансард, крыш и многого другого.

Крепление конструктивных элементов между собой производится без применения сварки, при помощи самонарезающих шурупов винтов из высокопрочной стали.

Специальная форма профиля гарантирует высокие прочностные характеристики, а перфорация - хорошую вентиляцию, позволяющую эффективно удалять конденсат из-под кровли или фасада.

1.4.4. Достоинства каркасов из легких металлических конструкций легких стальных тонкостенных конструкций

1.4.4.1. Легкость монтажа

Модульность каркаса, полная заводская готовность конструкций, легкость и скорость монтажа, возможность демонтажа, отсутствие сварки и «мокрых» процессов позволяет вести работы круглый год. Будучи «сухим» способом строительства, монтаж легких стальных тонкостенных конструкций может осуществляться всепогодно. Это особенно важно для инвестора и при строительстве экономичного жилья, когда возврат вложенных средств является определяющим фактором.

Сокращение сроков строительства и, как следствие, его стоимости, зависит еще и от степени оптимизации строительного процесса, в котором с применением легких стальных тонкостенных конструкций для серийного строительства (например коттеджный поселок с типовой застройкой или таунхаузы) возможно применять укрупненную сборку

предварительно изготовленных в заводских условиях элементов здания. В данном случае схема: позволяет минимизировать сроки строительства и оптимизировать многие строительные процессы.

1.4.4.2. Широкая область применения

Каркасная технология обеспечивает индивидуальный подход, оптимальное использование пространства, разнообразие вариантов решений и типов панелей ограждающих конструкций в сочетании с любыми традиционными материалами.

Каркасы из Легкие металлические конструкции могут применяться:

- Как комплексная строительная система для возведения малоэтажных зданий до 4 эт. Это подходит для массовой типовой и индивидуальной коттеджной застройки, строительства таунхаузов, а также малоэтажных зданий жилого и общественного назначения до 9 этажей.
- Как комплексная строительная система для создания быстросборных модульных домов в рамках специальных программ, например создания резервного фонда на случай ЧС.
- Для организации наружных теплых ограждающих в многоэтажных зданиях с тяжелым стальным каркасом или монолитным железобетонным фахверком. Это является более экономичной альтернативой кирпичу, газобетонным блокам и традиционному панельному домостроению.
- При реконструкции зданий (в том числе и ослабленных) в устройстве внутренних и наружных несущих и ненесущих стен, межэтажных перекрытий, кровельных систем, устройстве эксплуатируемых чердачных пространств.
- При обновлении и утеплении кровельных покрытий и фасадов. Способность конструкций перекрывать пролеты до 18 м без промежуточных опор по кровле и до 8 м по межэтажным перекрытиям, возможность размещать коммуникации внутри каркасных стен и перекрытий позволяют архитекторам максимально использовать внутреннее пространство, создавать оригинальные планировки.

Конструкции стен и кровель «всеядны» по отношению к типу фасадной отделки и кровельному покрытию. Для легких металлических конструкций существуют решения для отделки стен кирпичом, вагонкой, сайдингом, блок-хаусом, профилированным листом, варианты с утепленным оштукатуренным фасадом, а также множество вариантов вентилируемых фасадов с применением стекла, камня и т.д.

1.4.4.3. Малый удельный вес

Конструкции имеют малый удельный вес. Вес 1 кв.м несущего стального каркаса здания находится в пределах 20-25 кг, а вес 1 кв.м готового здания в среднем составляет 150 кг. Это преимущество позволяет снизить затраты на фундаменты, расширить возможности строительства на «плохих» грунтах, применять легких стальных тонкостенных конструкций при реконструкции зданий (в том числе и сильно ослабленных), осуществлять строительство в условиях тесной городской застройки без применения тяжелой грузоподъемной техники.

Низкие показатели по удельному весу обеспечиваются эффективными конструктивными решениями в сочетании с применением низколегированной конструкционной стали при изготовлении профилей.

1.4.4.4. Высокие теплосберегающие показатели

Применение эффективного утеплителя в каркасах из термопрофиля позволяет получать значения коэффициента сопротивления теплопередачи до 5.9 без учета возможных вариантов утепления по фасаду. Это свойство позволяет значительно снизить издержки при эксплуатации зданий и уменьшить нагрузки на городские сети. Высокие теплосберегающие показатели позволяют применять легкие стальные тонкостенные конструкций для экономичного строительства даже в условиях крайнего севера.



Рисунок 1.1 Энергосбережение в доме

В составе конструкций зданий, построенных с применением легких стальных тонкостенных конструкций в качестве обшивки обычно применяются гипсокартонные и гипсоволокнистые листы, а в качестве утеплителя - каменная вата или эковата, - материалы, являющиеся экологически чистыми, имеющими 100%-ю повторную переработку. Производство, транспортировка, монтаж и эксплуатация требуют гораздо меньших энергетических затрат, чем традиционные материалы.

При производстве и строительстве минимальное количество материалов идет в перерабатываемые отходы, а строительная площадка остается чистой во время всего процесса строительства, что благотворно влияет на рабочую обстановку на площадке и в целом окружающую среду. Правильно спроектированные и построенные с применением легких стальных тонкостенных конструкций здания не имеют синдрома «больного здания», связанного с излишней влагой, а внутреннее пространство зданий является безопасной, эргономической и экологической комфортной средой за счет хорошей шумоизоляции и влаго-воздухонепроницаемости. Не стоит забывать при этом, что во многом комфорт такого типа зданий обеспечивается за счет правильно выполненной эффективной системы вентиляции.

1.4.4.5. Стойкость к сейсмическим и прочим динамическим нагрузкам.

Здания, имеющие в качестве несущей системы легких стальных тонкостенных конструкций способны выдерживать сейсмические нагрузки до 9 баллов по шкале Рихтера. Это объясняется эластичностью стального каркаса здания, в котором для достижения этих свойств применяются еще дополнительные связи.

1.4.4.6. ПожароОгнестойкость.

ПожароОгнестойкость конструкций обеспечивается плитным материалом обшивки, количество слоев которой может быть подобрано оптимальным образом под конкретные противопожарные требования.

1.4.4.7. Низкая эксплуатационная стоимость.

Здания, построенные с применением легких стальных тонкостенных конструкций имеют стабильные размеры, хорошо защищены от влияния биологических и температурно - влажностных процессов, долговечны, энерго - экономичны

1.4.4.8. Точное изготовление материалов по проектной спецификации.

Применение современных CAD систем и машиностроительных методов проектирования позволяет на сегодняшний день генерировать ведомость материалов автоматически в электронном виде.

Получая в этом виде спецификацию, производит профили с точностью до 1 мм в продольном направлении и сотых долей мм по сечению, что позволяет обеспечивать машиностроительную точность при возведении здания. Также снизить затраты и сократить сроки строительства за счет более простого позиционирования отдельных элементов и в ряде случаев отсутствия необходимости выверки размеров.

1.4.5. Преимущества использования металлокаркаса из легких оцинкованных профилей в качестве несущих конструкций здания

- Сниженная металлоемкость компенсирует разницу в ценах между черной и оцинкованной сталью.
- Возможность изготовления профилей в размер позволяет работать практически без отходов.
- Цинковое покрытие защищает профиль от коррозии, позволяя не окрашивать металлокаркасы после монтажа.
- Снижение веса конструкции позволяет сэкономить на фундаменте.
- Строительство можно вести без применения крановой техники.
- В случае реконструкции зданий достаточно часто можно применять исключительно легкие профили (фундамент не выдержит дополнительной нагрузки).
- Отсутствует гниение, плесень и пр.
- Форма профиля оптимизирована по прочностным характеристикам, что позволяет включить в работу все сечения профиля.
- Профиль легко обрабатывается современным ручным электроинструментом, соединяется саморезами, заклепками, при необходимости сваркой в среде защитного газа.
- Исключены мокрые процессы строительства, что позволяет вести строительные работы круглогодично.
- Исполнение профиля с гофрированной боковой стенкой значительно увеличивает сопротивление изгибу, что позволяет строить в сейсмоопасных зонах и зонах с высокой ветровой нагрузкой.
- Сечение профиля позволяет очень легко создавать пожаростойкие, шумо- и теплоизоляционные стеновые и кровельные панели.

1.5. Производство легких металлических конструкций в Санкт-Петербурге.

Среди имеющейся нормативной литературы нет отдельных указаний для проектирования конструкций, зданий и сооружений из легких тонкостенных холодногнутых стальных профилей, о чем было так же упомянуто выше.

В связи с этим, учитывая рост производства металлоизделий и спроса на быстровозводимые здания из легких металлических холодногнутых стальных профилей, необходимо развивать теоретическую базу проектирования и практический опыт.

На данный момент в Санкт-Петербурге существует порядка 4 предприятий, имеющих свои линии по производству холодногнутых профилей. Однако спецификой легких металлических конструкций является то, что стандартного сортамента на их производство не существует и каждая компания выпускает свои виды профилей.

Одной Ведущей из действующих компаний по производству легких металлических конструкций в г. Санкт-Петербург является ООО «Балтпрофиль». Компания производит

профили с 2003 г. ООО «БалтПрофиль» освоила массовое производство профилей из оцинкованной стали толщиной от 0,6 до 2,0 мм. Профили изготавливают методом непрерывной прокатки на профилегибочных станах. Для снижения теплопроводности гнутых профилей на их стенках в процессе прокатки выполняется перфорация в виде продольных просечек. Перфорированные профили (или так называемые «термопрофили») обладают пониженной теплопроводностью, сопоставимой с деревянными элементами такой же площади сечения благодаря увеличению пути прохождения теплового потока между полками профиля.

За время своей работы ООО «Балтпрофиль» зарекомендовало себя как надежная, стабильно развивающаяся компания, активно продвигающая технологию ЛСТК на строительном рынке, обеспечивающая научно-техническую и конструкторскую поддержку, стремящаяся осваивать смежные и совместимые с легких стальных тонкостенных конструкций современные строительные технологии.

1.5.1. Расчетные сопротивления материала профиля

Профили изготавливаются из следующих материалов:

- сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий по ГОСТ 14918, групп ХП и ПК, высшего или первого класса по толщине цинкового покрытия, нормальной разнотолщинности НР, нормальной точности прокатки по толщине БТ, нормальной плоскостности ПН с обрезной кромкой 0;
- горячеоцинкованная сталь марки 08гс по ТУ 14-1-1492 с гарантированным пределом текучести не менее 230 МПа;
- импортные и отечественные рулонные оцинкованные стали, отвечающие требованиям ГОСТ 14918 к сталям ХП и ПК. По согласованию с заказчиком допускается для несущих элементов профили изготавливать из стали группы ОН по ГОСТ 14918.

Толщина сталей без учета толщины защитного покрытия принимается от 0,6 до 2,0 мм в зависимости от типа профиля. Возможно применение рулонной оцинкованной стали с полимерным покрытием по ГОСТ Р 52146-2003. При определении массы профилей масса цинкового покрытия, нанесенного с двух сторон, не менее 414 г. на м² заготовки. Относительное удлинение стали – не менее 16%.

1.5.2 Типоразмеры профилей, выпускаемые компанией ООО «Балтпрофиль»

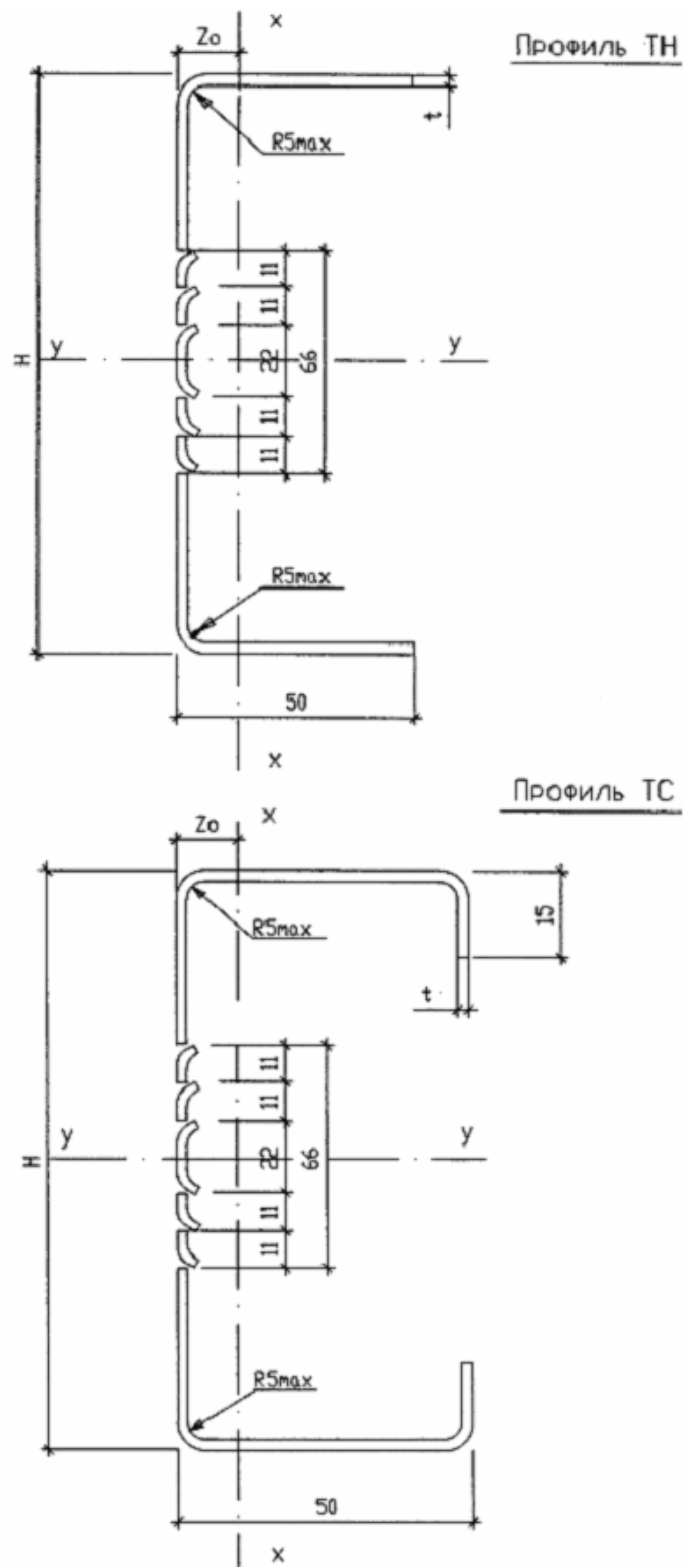


Рисунок 1.2 Иллюстрация профиля типа TH и TC

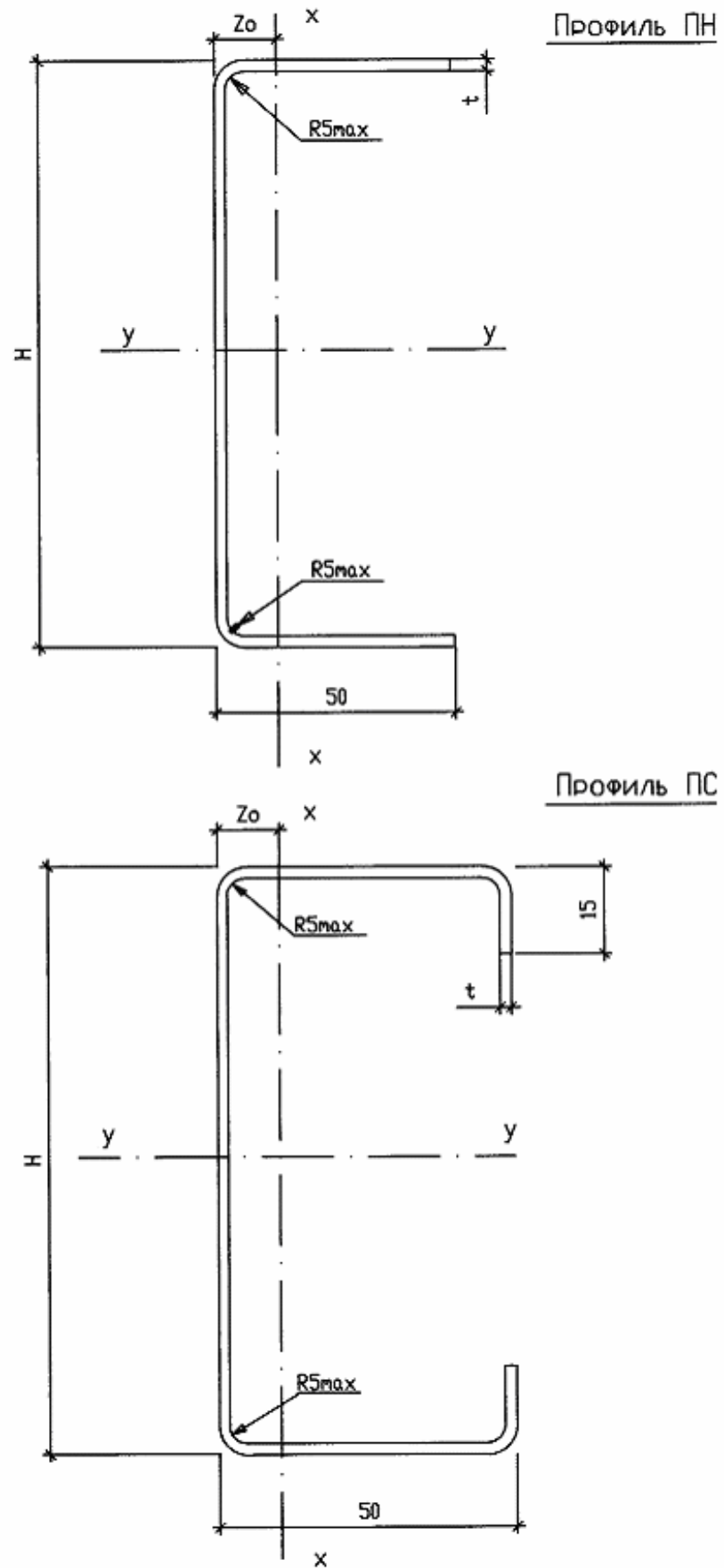


Рисунок 1.3 Иллюстрация профиля типа ПН и ПС

Профиль С

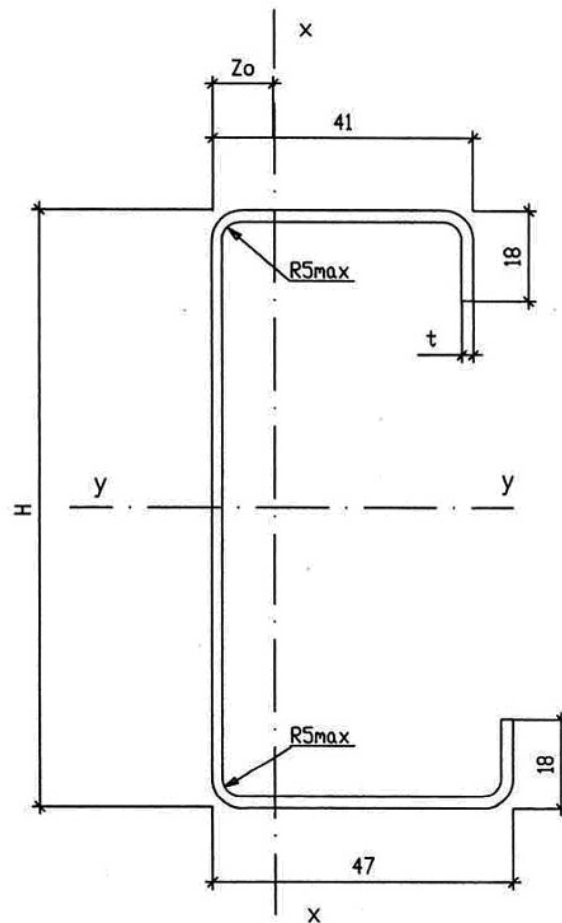


Рисунок 1.4 Иллюстрация профиля типа С



Рисунок 1.5 Иллюстрация профиля типа ОУ

1.5.3. Технология монтажа тонкостенных холоднокатанных стальных горячеоцинкованных профилей при возведении зданий и сооружений различного назначения.

Монтаж панелей, ферм производится на территории завода-изготовителя. На месте здание собирается уже из готовых строительных элементов.

Производство термопанелей может осуществляться тремя методами:

- непосредственно на объекте;
- «полевое» производство на месте строительства;
- заводское производство.

Выбор способа производства зависит от:

- количества строящихся зданий
- типа зданий
- места строительства
- особенностей строительства
- капиталовложений.

Остановимся на каждом из методов.

Производство на месте

Преимущества:

- не требует затрат на производственные мощности;
- строительные рабочие привыкают к методу работы;
- существует возможность воплощения более поздних решений и изменений;
- используется собственная рабочая сила компании.

Недостатки:

- увеличивается продолжительность строительства;
- необходимость наличия складских помещений материалов на стройплощадке
- материалы и части зданий подвергаются погодным воздействиям.

«Полевая фабрика»

Термопанели, перекрытия и кровельная система производятся во временных помещениях (временные навесы или цеха из ЛМК) для данного строительного проекта или в отдельной зоне на строительной площадке.

Преимущества:

- узлы производятся в условиях более строгого контроля;
- возможность использования промышленных способов соединения (напр. заклепки)
- высокая производительность труда по сравнению со способом «на месте»;
- возможность избежать затрат на производственные мощности и оборудование;
- отсутствие транспортных расходов;
- хорошие рабочие условия;
- чистая рабочая зона;
- возможность увязки с ходом работ на месте.

Недостатки:

- необходим подъемный кран;
- возможность повреждения материалов при работе;

Заводское производство

Преимущества:

- высокая степень точности и высокое качество;
- высокая производительность и малое время сборки;
- малое количество отходов;
- отсутствие необходимости в складских площадях на строительных площадках.

Недостатки:

- затраты на транспортировку;
- возможность повреждений при погрузке-выгрузке и транспортировке;
- необходимость качественной проектно-конструкторской документации на ранней стадии строительства
- крупные инвестиции в цеха и оборудование.

Сборка панелей производится на болтах самонарезающихся винтах, некоторые соединения выполняются с использованием дополнительных соединительных элементов –

уголковых профилей и др. Примеры креплений стержней в конструкциях показаны на рис. 1.22 – 1.26.

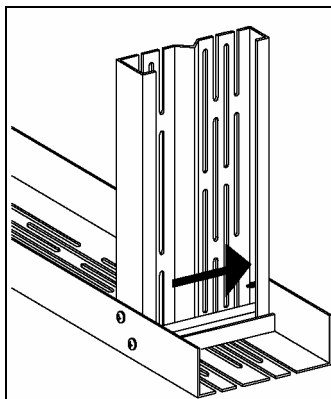


Рисунок 1.6 Крепление стержня на болтах и соединительном уголке.

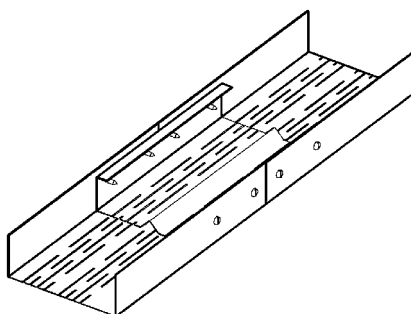


Рисунок 1.7 Крепление стержней между собой на соединительном элементе и болтах

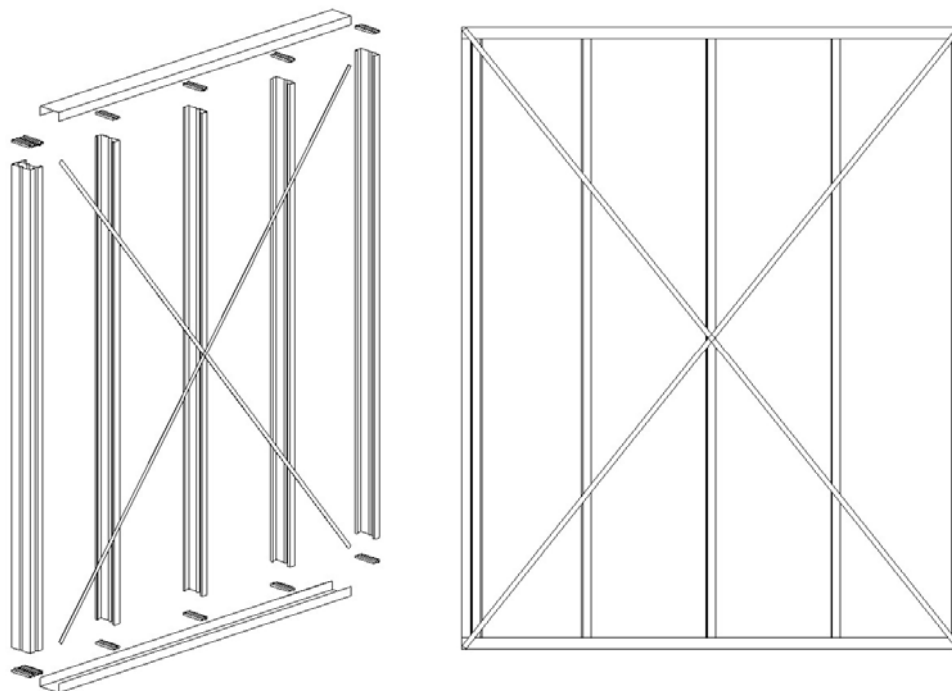


Рисунок 1.8 Сборка типовой панели без проемов

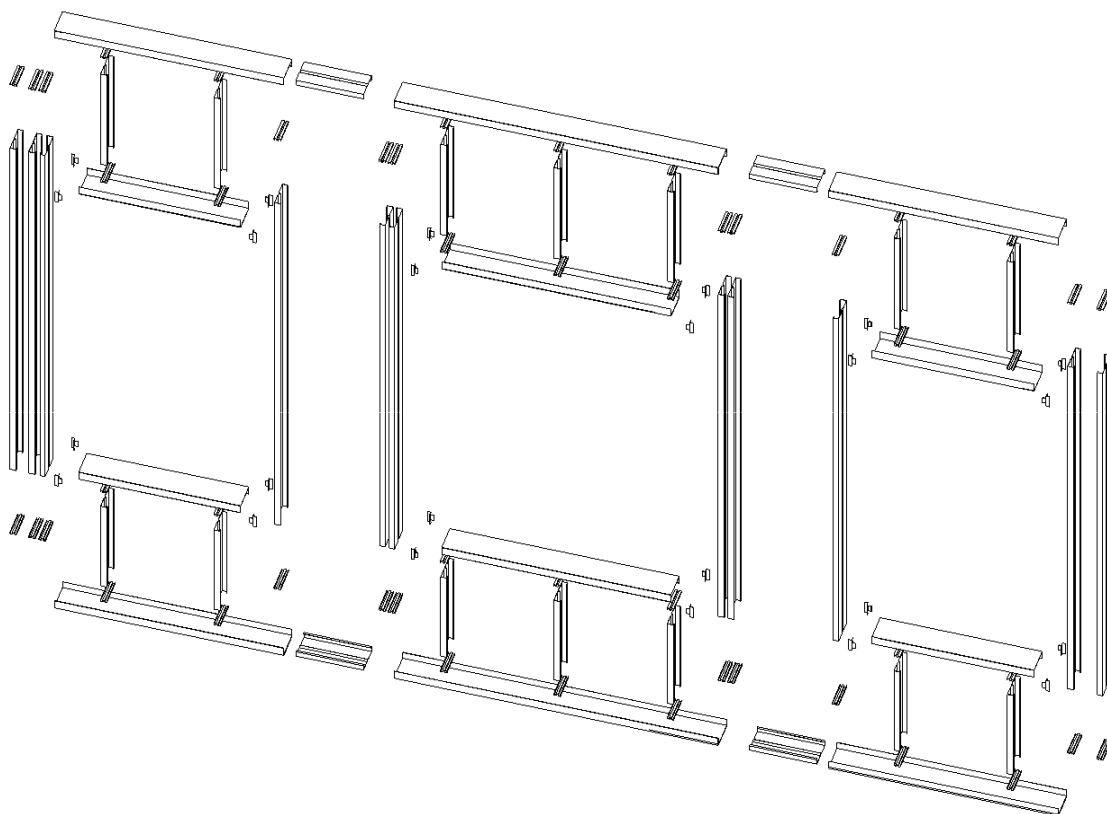


Рисунок 1.9 Сборка типовой панели с проемами

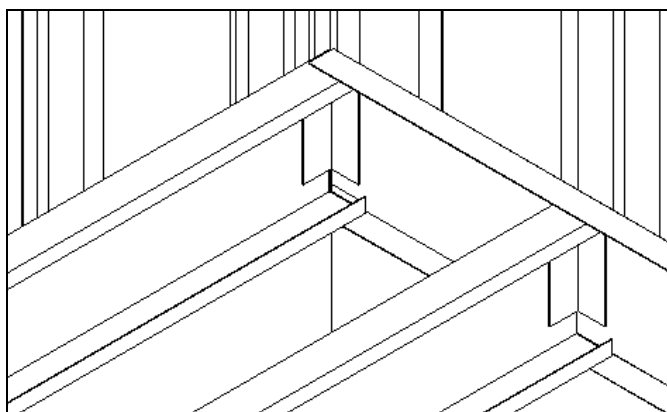


Рисунок 1.10 Участок типового перекрытия

1.6. Особенности расчета тонкостенных стержней

1.6.1. Понятие тонкостенных стержней

Тонкостенные стержни входят в состав самых разнообразных инженерных сооружений, относящихся к различным областям техники. В некоторых случаях такая расчетная модель описывает сооружение в целом (например многоэтажное здание с несущими стенами или пролетное строение моста), в других случаях. важные несущие компоненты силового каркаса.

В строительной механике стержнем называется тело, у которого максимальный габаритный размер поперечного сечения b_{max} намного меньше его длины l .

В массивных стержнях наименьший размер поперечного сечения t_{min} имеет одинаковый с b_{max} порядок величины (рис.1.2).

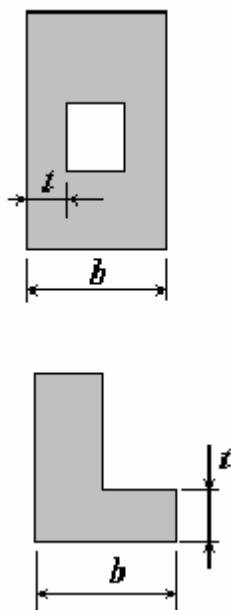


Рисунок 1.11 Массивный стержень

В тонкостенном стержне $t_{\min} \ll b_{\max}$ и, разумеется, $t_{\min} \ll L$, где L - длина контурной линии поперечного сечения тонкостенного стержня. (рис.1.3). Обычно стержень считают тонкостенным, если выполняются неравенства: $t / b < 0,1$; $b / l < 0,1$.

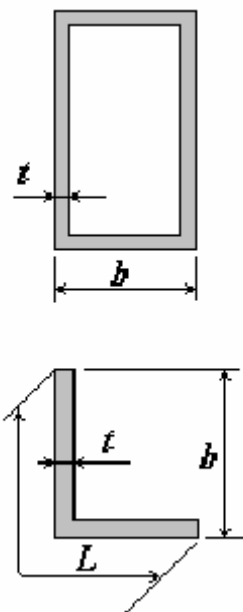


Рисунок 1.12 Тонкостенный стержень

Основные положения теории тонкостенных стержней были даны С.П. Тимошенко. Далее теория расчета стержней подобного вида для случаев открытого и замкнутого профилей развита в работах В.З.Власова, А.А.Уманского, Е.А. Бейлина. Так же вопросами тонкостенных стержней в Санкт-Петербурге занимались д.т.н., профессор В.И. Сливкер и доцент кафедры сопротивления материалов СПбГПУ В.А.Шерстнев, большой вклад в изучение вопроса внес д.т.н., профессор А.В. Перельмутер.

Тонкостенный стержень как расчетная схема сохраняет в себе основные свойства обыкновенного бруса, формулы, связанные с изгибом, растяжением и кручением бруса остаются в основном справедливыми и для тонкостенных стержней. Вместе с тем, несмотря на указанное сходство с брусом, тонкостенный стержень в силу геометрических соотношений обнаруживает свойства, существенно отличающиеся от стержней сплошного сечения.

1.6.2. Неприменимость принципа Сен-Венана

Особенностью тонкостенных стержней является неприменимость к ним принципа Сен-Венана. Принцип Сен-Венана формулируется следующим образом: если совокупность некоторых сил, приложенных к небольшой части поверхности тела, заменить статически эквивалентной системой других сил, то такая замена не вызовет существенных изменений в условиях нагружения частей тела, достаточно удаленных от мест приложения исходной системы сил.

Принятие этого принципа означает условие рассматривать только те части тела, которые достаточно удалены от места приложения нагрузки. На рис. 1.4 представлена иллюстрация принципа Сен-Венана на простейшем примере. Из рисунка видно, что замена распределенной нагрузки статически эквивалентной сосредоточенной силой не окажет существенного влияния на условия нагружения части бруса, удаленной на расстояние не менее $(3...5)t$ от правой границы действия распределенной нагрузки, где t - наибольший размер поперечного сечения бруса.

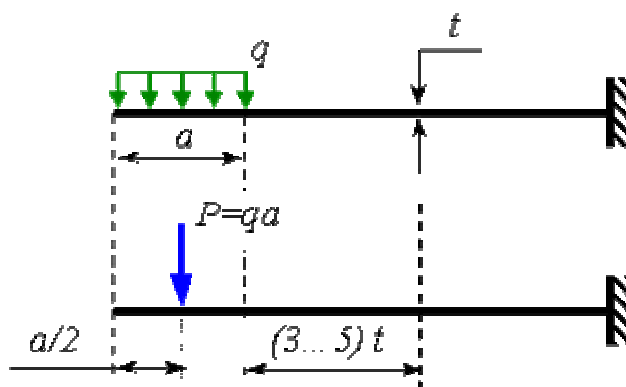


Рисунок 1.13 Иллюстрация принципа Сен-Венана

1.6.3. Растяжение тонкостенного стержня

На рис.1.5 показано растяжение тонкостенного и сплошного стержня силой P , передаваемой через жесткую скобу. Штриховкой отмечена зона неравномерного распределения напряжений по сечению растянутого стержня. Для стержня сплошного сечения эта зона охватывает только малую часть ее длины. Для тонкостенного же стержня в подобных случаях размеры этой зоны неизмеримо больше. Практически может получиться так, что напряжения будут распределены неравномерно во всех сечениях стержня. Говоря иными словами, в тонкостенном стержне глубина проникновения краевых особенностей вдоль оси существенно больше, чем в сплошном стержне.

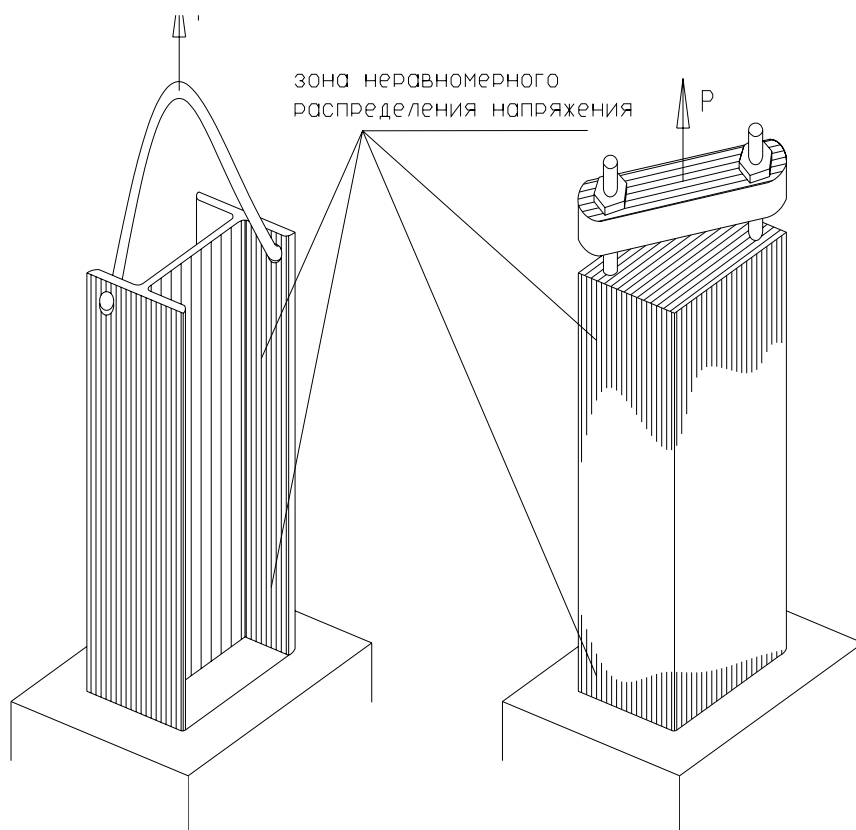


Рисунок 1.14 Растяжение тонкостенного стержня (слева) и сплошного стержня (справа)

Сказанному можно дать простое физическое толкование. Каждая полка двутаврового сечения нагружена внецентренно приложенной силой $P/2$. Если бы стенка профиля отсутствовала, полки изгибались бы независимо и действие каждого момента на полку распространялось на всю ее длину. Вопрос заключается в том, сколь жесткой является связь между полками. Для сплошного сечения эта связь очень жесткая и неравномерность распределения напряжений в поперечном сечении ограничена узкой областью. Для тонкого сечения жесткость связи мала и указанная неравномерность проникает неизмеримо дальше. Чем меньше толщина стенки, тем заметнее указанный эффект.

По рис.1.6 видно, что при заданной системе сил сечение тонкостенного стержня не остается плоским, происходит депланация сечения - нарушения плоскостности поперечных сечений. Одновременно сечение поворачивается относительно оси стержня. Таким образом, при растяжении тонкостенного стержня могут возникать перемещения, свойственные кручению.

Депланация в большей мере характерна для тонкостенных стержней открытого профиля и в меньшей для тонкостенных стержней замкнутого профиля.

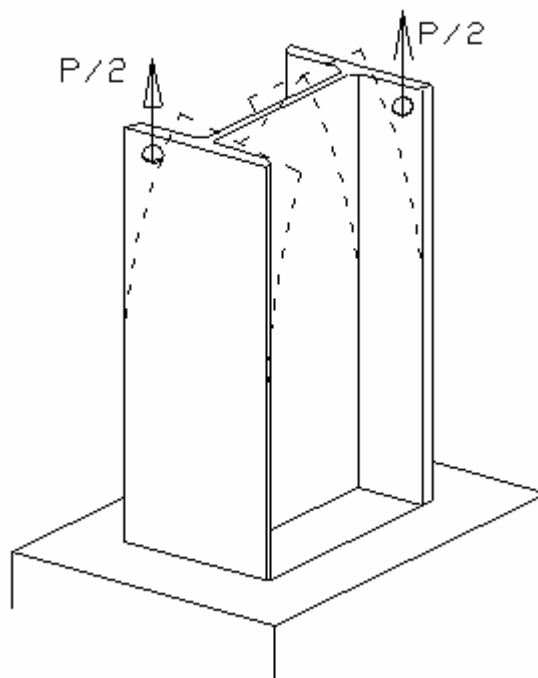


Рисунок 1.15 Деформация тонкостенного стержня

Депланация возникает так же при кручении тонкостенного стержня. Если депланацию ограничить, например, зацемя стержень по торцам, в поперечных сечениях возникнут заметные нормальные напряжения, они создадут противодействующий момент и жесткость стержня на кручение значительно возрастет. Для сплошных сечений этот эффект проявляется в значительно меньшей степени и поэтому не учитывается.

1.6.4. Изгиб тонкостенного стержня

При поперечном изгибе в сечениях тонкостенного стержня возникают касательные напряжения, имеющие заметную величину. Эти напряжения при расчете стержня на прочность необходимо принимать во внимание. Вообще говоря, сравнительная оценка нормальных и касательных напряжений при переходе от сплошного сечения к тонкому профилю значительно меняется, поэтому это требует дополнительного изучения.

В связи с этим дополняют известные геометрические характеристики сечений (F , S_x , S_y , J_x , J_y , J_{xy}). Вводится ряд новых характеристик, определяющих работу тонкостенного стержня, связанных с геометрией сечения. Эти характеристики используются только для тонкостенных стержней и определяются на основе понятия секториальной площади.

Секториальная площадь представляет из себя удвоенную площадь, ометаемую радиус-вектором PA при движении точки A по контур от начала отсчета O до некоторого значения дуги s . Если радиус-вектор вращается по часовой стрелке, приращение площади ds имеет знак плюс, против часовой стрелки – минус. Секториальная площадь является функцией дуги s и зависит от начала отсчета s и положения полюса P , см рис. 1.7.

$$\omega = \int_0^s r ds \quad (1.1)$$

где
 ω – секториальная площадь
 r – радиус-вектор
 s – дуга

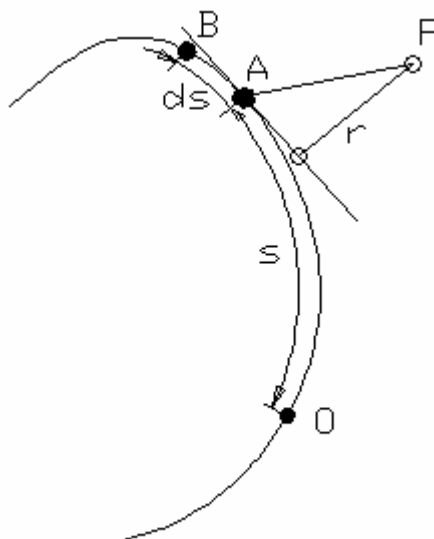


Рисунок 1.16 Определение секториальной площади

При переносе полюса секториальная площадь меняется на величины, линейно зависящие от координат x и y . Изменение начала отсчета дуги s (точки O) меняет секториальную площадь во всех точках контура на постоянную величину, поскольку меняется нижний предел интеграла.

В связи с этим возникают следующие геометрические характеристики стержня: секториально статический момент инерции

$$\int_F w dF \text{ см}^4 \quad (1.2)$$

секториально линейные моменты площади

$$\int_F x w dF \text{ см}^5 \quad (1.3)$$

$$\int_F y w dF \text{ см}^5 \quad (1.4)$$

секториальный момент инерции

$$\int_F w^2 dF \text{ см}^6 \quad (1.5)$$

При поперечном изгибе тонкостенного стержня в его сечении преобладающими остаются нормальные напряжения σ и ими в основном определяется прочность стержня. Однако здесь в отличие от бруса сплошного сечения существенное значение приобретают величина и законы распределения касательных напряжений.

Касательные напряжения в поперечных сечениях тонкостенного стержня определяются по тому же принципу, что и для сплошного бруса. В отличие от бруса сплошного сечения продольный разрез тонкостенного стержня следует производить плоскостью, не параллельной нейтральному слою, а плоскостью, нормальной к средней линии контура. Такое сечение имеет наименьшую ширину, и в нем касательные напряжения, уравнивающие разность нормальных сил будут иметь большую величину, чем в других продольных сечениях.

Из законов механики известно, что система сил, лежащих в плоскости сечения может быть приведена к любой точке плоскости в виде равнодействующей силы и момента. Величина равнодействующей не зависит от точки приведения и во всех случаях равна

поперечно силе Q . Что касается равнодействующего момента, то он зависит от положения точки приведения сил.

Существует такая точка, относительно которой момент касательных сил в сечении при поперечном сечении равен нулю. Эта точка называется центром изгиба. Если момент касательных сил в сечении относительно центра изгиба равен нулю, то и момент внешних сил относительно центра изгиба должен быть равен нулю, иначе в бруске возникнут деформации, свойственные не только поперечному изгибу, но и кручению. Поэтому очевидно целесообразно при определении внутренних силовых факторов приводить касательные силы в сечении не к центру тяжести, а к центру изгиба и под крутящим моментом понимать соответственно внутренний момент относительно центра изгиба. Секториально линейные моменты относительно главных центральных осей и полюса, совпадающие с центром изгиба равны нулю. Положение центра изгиба определяется на основании секториальной площади.

1.6.5. Кручения тонкостенного стержня

Рассмотрим теперь задачу кручения тонкостенного стержня. В основе анализа задачи кручения тонкостенного стержня находится гипотеза жесткого контура, т.е. предполагается, что контур поперечного сечения при кручении стержня сохраняет свою форму.

При кручении стержня поперечные сечения поворачиваются относительно некоторой неподвижной точки O , которую называют центром кручения.

Депланация сечения тонкостенного стержня следует вдоль дуги контура закону изменения секториальной площади. Так же депланация пропорциональна удельному углу закручивания. Если путем наложения связей ограничить депланацию, будет ограничен и угол закручивания.

При депланации в поперечных сечениях стержня возникают нормальные напряжения. Возникновение нормальных напряжений, изменяющихся вдоль оси z , неизбежно приводит к появлению вторичных касательных напряжений в поперечном сечении стержня.

Вторичные касательные напряжения по толщине профиля распределены равномерно и на средней линии сечения в отличие от основных напряжений в нуль не обращаются. Получается, что происходит невязка с вышесказанным предположением о том, что на линии контура касательные напряжения равны нулю. Получаем, что при переменном угле закручивания действительный закон изменения w по сечению отличается от закона секториальной площади.

Однако, исследования указывают, что этот эффект значительно не сказывается на основных зависимостях.

1.6.6. Исследование прочности несущих балок

К вышеприведенным теоретическим материалам добавим практическое исследование работы тонкостенного профиля.

Практические исследования и расчеты работы тонкостенного стержня z -образного сечения были проведены на кафедре «Сопrotивление материалов» в Санкт-Петербургском Государственном Политехническом Университете. Работа проведена В.А.Шерстневым.

В опыте к балке прикреплены поддоны с грузом. Для удобства последующего рассмотрения нагрузка F , передаваемая на балку поддонами с грузом, заменяется

$$q = \frac{F}{l}$$

равномерно распределенной нагрузкой; ранее подобный прием уже использовали с экспериментальным обоснованием его правомерности для балок закрытого профиля. При этом величина e выражает положение центра давления со стороны поддона на балку; имеет место случай совместного изгиба балки с кручением. Специфика рассмотрения этих деформаций позволяет при оценке изгиба считать торцы балки соединенными с гибкими мембранами Γ_1 и Γ_2 , которые не стесняя депланации поперечных сечений, могут свободно поворачиваться на призматических опорах (рис. 1.8). Вместе с тем, при рассмотрении кручения концы балки следует считать закрепленными в жестких плитах P_1 и P_2 (рис. 1.9), которые стесняют развитие депланации по длине балки.

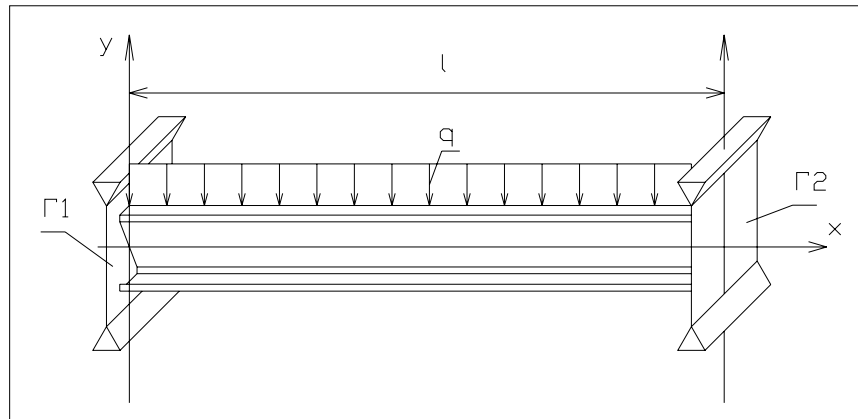


Рисунок 1.17 Схема закрепления стержня при рассмотрении изгиба стержня

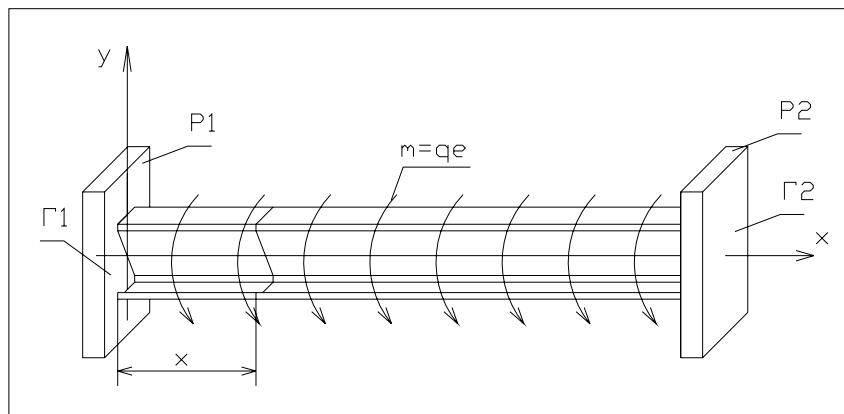


Рисунок 1.18 Схема закрепления стержня при рассмотрении кручения стержня

1.6.6.1. Задача изгиба стержня

На рис. 1.10 показаны эпюры внутренних силовых факторов Q_y и M_z по длине балки; разгружающие моменты M^* от действия зацепов являются весьма незначительными и в дальнейшем не учитываются (во всяком случае, это идет в запас прочности).

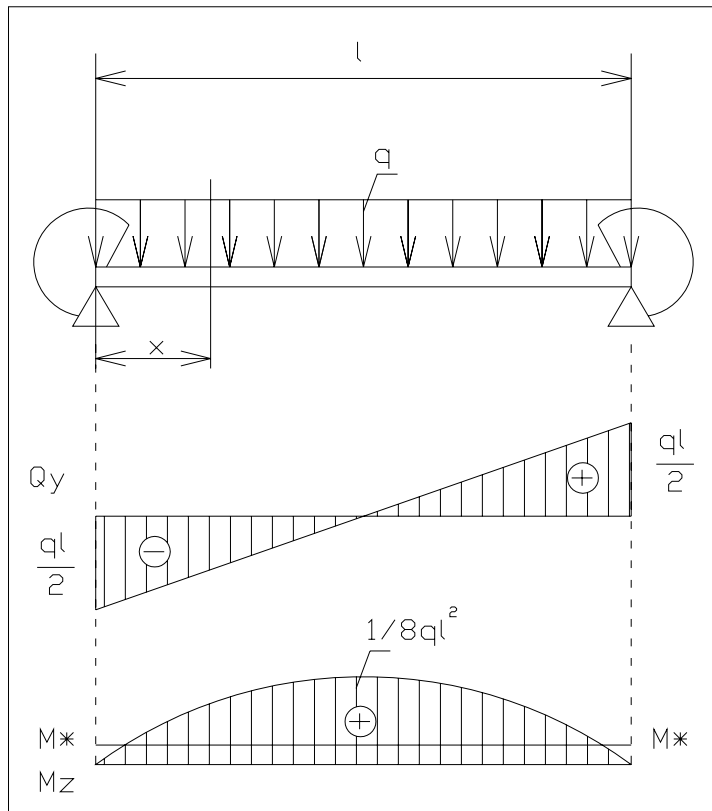


Рисунок 1.19 Эпюры внутренних силовых факторов

Поперечная сила и изгибающий момент в произвольном сечении при этом равны:

$$\left. \begin{aligned} Q_y &= \frac{ql}{2} \left(1 - \frac{2x}{l} \right) \\ M_z &= \frac{ql}{2} x \left(1 - \frac{x}{l} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Как показано на рис. 1.11, главные центральные оси инерции y_0, z_0 повернуты при этом относительно осей y, z на угол α_0 . Это означает, что изгиб балки не является плоским и его следует рассматривать предварительно разложив нагрузку по главным плоскостям балки xy_0, xz_0 . С этой целью были первоначально вычислены:

$$I_y = \int_A z^2 dA = 13,7 \text{ см}^4$$

$$I_z = \int_A y^2 dA = 81,7 \text{ см}^4$$

$$I_{yz} = \int_A yz dA = 5,3 \text{ см}^4$$

затем найден поворот α_0

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \arctg \left(-\frac{2I_{yz}}{I_y - I_z} \right) \quad (1.7)$$

который составил $\alpha \approx 5^\circ$; после чего были найдены главные моменты инерции I_{y_0}, I_{z_0} :

$$I_{y_0, z_0} = \frac{1}{2} \left(I_y + I_z \mp \sqrt{(I_y - I_z)^2 + 4I_{yz}^2} \right) \quad (1.8)$$

они получились равными

$$I_{y_0} = 13,3 \text{ см}^4,$$

$$I_{z_0} = 82,1 \text{ см}^4$$

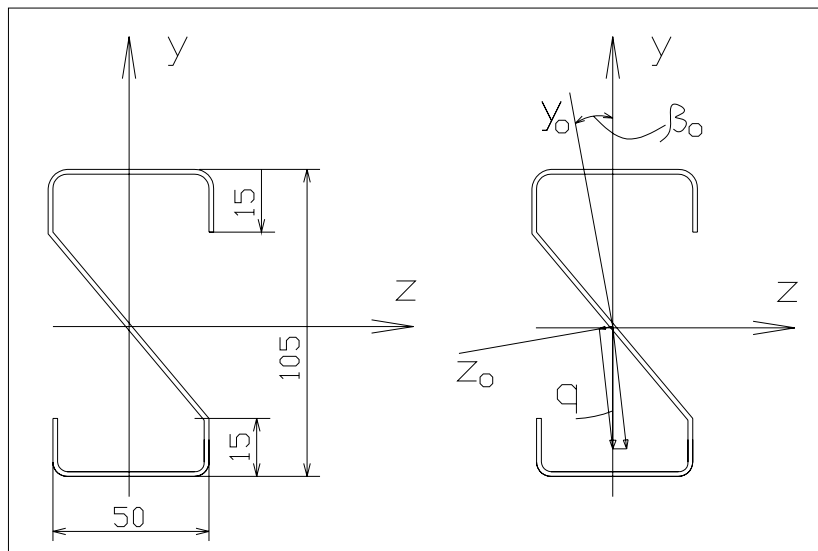


Рисунок 1.20 Схема расположения центральных осей инерции

Нормальное σ_p и касательные напряжения τ_p в расчетной точке произвольного сечения следует определять по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_p &= \frac{1}{I_{z_0}} \cdot \frac{ql}{2} x \left(1 - \frac{x}{l}\right) \cdot \left(y_0 \cos \alpha_0 + z_0 \sin \alpha_0 \frac{I_{z_0}}{I_{y_0}} \right), \\ \tau_p &= \frac{1}{I_{z_0}} \cdot \frac{ql}{2} \left(1 - \frac{2x}{l}\right) \cdot \frac{s_{z_0}^0}{t}, \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

где y_0, z_0 – координаты расчетной точки в сечении,

s_z^0 – статический момент отсеченной части площади,

t – толщина профиля.

При этом приведенное напряжение по критерию максимальных касательных напряжений σ_{III} определяют известным образом:

$$\sigma_{III} = \sqrt{\sigma_p^2 + 4\tau_p^2} \quad (1.10)$$

Выполненное рассмотрение дает первую суперпозицию искомого решения, которую рассматривают совместно со второй (задача кручения).

1.6.6.2. Задача кручения стержня.

Рассматривается тонкостенный стержень открытого профиля под действием равномерно распределенного скручивающего момента m интенсивности $m = q \cdot e$, где q выражает интенсивность условно равномерной поперечной нагрузки на балку стеллажа (рис. 2.1), а e – эксцентриситет ее приложения.

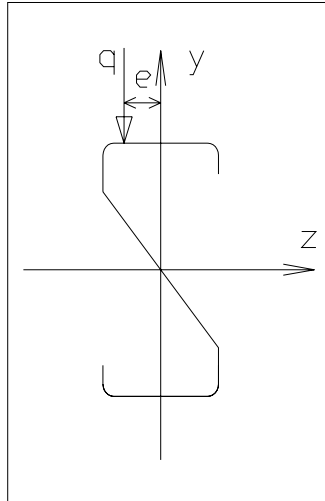


Рисунок 1.21 Схема приложения нагрузки

Закрепление концов балки в опорах (зацепах) предполагается жестким (рис.1.9): здесь отсутствуют и коробление (депланация), и общий поворот в плоскости опор. Считая реактивные моменты одинаковыми между собой (по условиям симметрии) и равными

$$M_p = \frac{1}{2} qel, \text{ приходят к дифференциальному уравнению вида задачи в осях } x y z: \quad (1.11)$$

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \alpha^2\theta = -\alpha^2 \frac{1}{GI_{кр}} \cdot qe \left(\frac{l}{2} - x \right)$$

где $\theta = \frac{d\varphi}{dx}$ – относительный угол закручивания,

$\alpha^2 = \frac{GI_{кр}}{EI_\omega}$ – геометрический параметр задачи,

G, E – упругие характеристики материала,

$I_{кр}$ = геометрическая жесткость профиля балки при свободном кручении,

I_ω – главный секториальный момент инерции профиля балки.

Решение этого уравнения имеет следующий вид:

$$\theta = C_1 \operatorname{sh} \alpha x + C_2 \operatorname{ch} \alpha x + \frac{qe}{GI_{кр}} \left(\frac{l}{2} - x \right) \quad (1.12)$$

в чем легко удостовериться путем подстановки решения (1.12) в исходное дифференциальное уравнение (1.11).

Константы интегрирования определяли из граничных условий:

при $x=0$: осевые перемещения отсутствуют по всей средней линии контура; учитывая перемещения вызванные депланацией $U = -\theta \cdot \omega$ (здесь ω – секториальная площадь профиля, являющаяся функцией дуговой координаты) также равны нулю, получаем условие $\theta = 0$:

$$0 = C_2 + \frac{qe}{GI_{кр}} \cdot \frac{l}{2},$$

откуда

$$C_2 = -\frac{qe}{GI_{кр}} \cdot \frac{l}{2}$$

Такое условие выражает отсутствие депланации профиля в зоне его соединения с зацепом.

при $x = \frac{l}{2}$; ввиду симметрии задачи здесь выполняется такое же условие, что и на краях балки, т.е. тоже $\theta = 0$:

$$C_1 \operatorname{sh}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) + C_2 \operatorname{ch}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) = 0$$

откуда с учетом найденного значения C_2 получается:

$$C_1 = \frac{qe}{GI_{кр}} \cdot \frac{1}{2} \operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right)$$

и решение (1.12) принимает свой рабочий вид:

$$\theta = \frac{qe}{GI_{кр}} \cdot \frac{l}{2} \left(\operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot \operatorname{sh}\alpha x - \operatorname{ch}\alpha x - \frac{2x}{l} + 1 \right) \quad (1.13)$$

Корректность полученного решения проверяли дополнительно по углу закручивания

φ . С этой целью его дополнительно проинтегрировали (выше отмечено, что $\theta = \frac{d\varphi}{dx}$); получено:

$$\varphi = \frac{qe}{GI_{кр}} \frac{l}{2} \left(\frac{1}{\alpha} \operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot \operatorname{ch}\alpha x - \frac{1}{\alpha} \operatorname{sh}\alpha x - \frac{x^2}{l} + x + C_3 \right) \quad (1.14)$$

Константу C_3 определили из очевидного граничного условия:

при $x = 0$ угол закручивания $\varphi = 0$;

$$C_3 = -\frac{1}{\alpha} \operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right)$$

откуда и формула для угла φ приняла следующий вид:

$$\varphi = \frac{qe}{GI_{кр}} \frac{l}{2} \left(\frac{1}{\alpha} \operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot (\operatorname{ch}\alpha x - 1) - \frac{1}{\alpha} \operatorname{sh}\alpha x + x \left(1 - \frac{x}{l}\right) \right) \quad (1.15)$$

Угол закручивания φ на противоположном конце балки (для $x = l$) при этом составил:

$$\varphi_{x=l} = \frac{qe}{GI_{кр}} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{\alpha} \left(\operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot (\operatorname{chal} - 1) - \operatorname{shal} \right) = C_* \left(\operatorname{cth}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot (\operatorname{chal} - 1) - \operatorname{shal} \right) = C_* C_0$$

С учетом известных соотношений для гиперболических функций

$$\operatorname{ch}^2 \gamma - \operatorname{sh}^2 \gamma = 1,$$

$$\operatorname{sh} \gamma = 2 \operatorname{sh} \frac{\gamma}{2} \cdot \operatorname{ch} \frac{\gamma}{2},$$

$$\operatorname{ch} \gamma = \operatorname{ch}^2 \frac{\gamma}{2} + \operatorname{sh}^2 \frac{\gamma}{2}$$

константа C_0 принимает значение

$$C_0 = \frac{\operatorname{ch}\left(\alpha \frac{l}{2}\right)}{\operatorname{sh}\left(\alpha \frac{l}{2}\right)} \left(\operatorname{ch}^2\left(\alpha \frac{l}{2}\right) + \operatorname{sh}^2\left(\alpha \frac{l}{2}\right) - \operatorname{ch}^2\left(\alpha \frac{l}{2}\right) + \operatorname{sh}^2\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \right) - 2 \operatorname{sh}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) = 2 \operatorname{ch}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \operatorname{sh}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) - 2 \operatorname{sh}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\alpha \frac{l}{2}\right) = 0$$

т.е. $\phi|_{x=l} = 0$.

Это означает, что и на противоположном конце балки граничное условие по углу закручивания автоматически соблюдается, т.е. полученные решения (1.13) и (1.15) являются корректными.

Для практического применения полученных решений необходимо вычислить геометрический параметр задачи α , который включает и попутное определение геометрической характеристики профиля $I_{кр}$, причем

$$\alpha^2 = \frac{GI_{кр}}{EI_{\omega}}$$

Для вычисления $I_{кр}$ используют известное соотношение 1

$$I_{кр} = \frac{1}{3} t^3 s,$$

где t – толщина профиля, а s – общая длина осевой линии профиля, равная в данном случае $s = 2b + 4c + \sqrt{(h - 2c)^2 + b^2}$,

или в числах (при $b = 4,8 \text{ см}$, $c = 1,4 \text{ см}$, $h = 10,3 \text{ см}$) выходит $s = 2 \cdot 4,8 + 4 \cdot 1,4 + \sqrt{(10,3 - 2 \cdot 1,4)^2 + 4,8^2} = 24,1 \text{ см}$,

тогда при $t = 2 \text{ мм}$ получается

$$I_{кр} = \frac{1}{3} \cdot 0,2^3 \cdot 24,1 = 0,064 \text{ см}^4$$

Вычисление главного секториального момента инерции

$$I_{\omega} = t \int_s \omega^2 ds$$

предполагает предварительное определение секториальной площади ω , которое проводится путем интегрирования следующего выражения (см. также рис. 1.13):

$$\omega = \int_0^s r ds$$

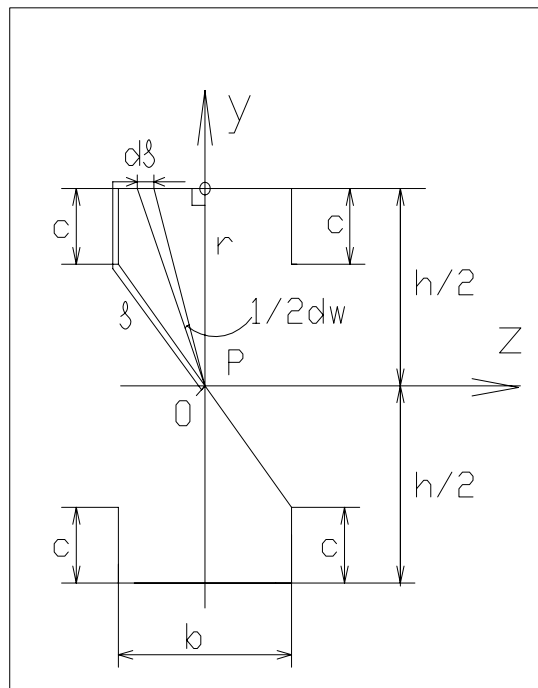


Рисунок 1.22 Определение секториальной площади

При выборе полюса Р и начала отсчета 0 дуги s в единой точке, которая совпадает с центром тяжести профиля (и одновременно с центром изгиба), начальная картина секториальной площади ω_0 , как это видно по рис. 1.14, особенна тем, что $\int_s \omega_0 ds \neq 0$

В подобных случаях при дальнейшем рассмотрении вводят постоянную составляющую ω_* в каждой точке оси профиля из условия:

$$\int_s (\omega_0 + \omega_*) ds = \int_s \omega ds = 0$$

При этом обеспечивается самоуравновешенность внутренних сил в поперечных сечениях стержня открытого профиля, порождаемых стеснением его деформации. На рис. 1.15 показан результат такой модификации секториальной площади профиля. Следует заметить, что указанные изменения отвечают смещению точки 0 начала отсчета дуги s при сохранении положения полюса Р.

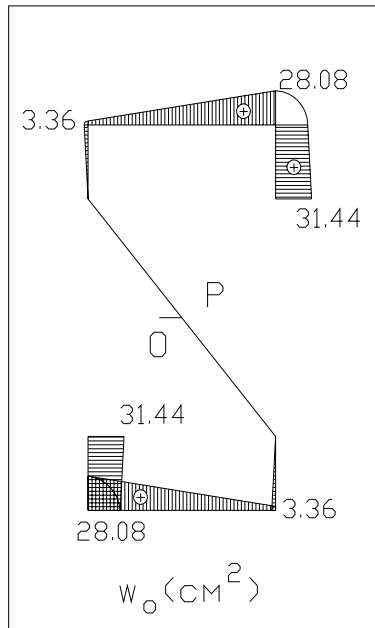


Рисунок 1.23 Начальная картина секториальной площади

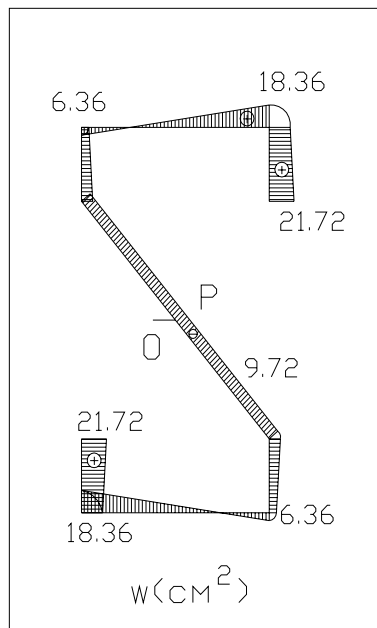


Рисунок 1.24 Результат модификации секториальной площади

Процедуру вычисления I_{ω} для данного профиля можно проводить различными способами; в частности, здесь может быть использован известный способ Верещагина, т.к. осевая линия профиля составлена из прямолинейных участков. В результате вычислений получили

$$I_{\omega} = 599,5 \approx 600 \text{ см}^6$$

После этого был определен параметр α :

$$\alpha^2 = \frac{GI_{кр}}{EI_{\omega}} = 0,4 \frac{0,064}{0,6 \cdot 10^3} = 4,267 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{см}}$$

известно, что $\frac{G}{E} = 0,4$

$$\alpha = 6,53 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{см}}$$

Если взять для дальнейших оценок типоразмер $l = 110 \text{ см}$, то получается:

$$\alpha \frac{l}{2} = 6,53 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{110}{2} = 0,359$$

$$cth(1,14) = \frac{e^{0,359} + \frac{1}{e^{0,359}}}{e^{0,359} - \frac{1}{e^{0,359}}} = 2,902$$

Решения (1.13) и (1.15) могут быть записаны в более простом виде:

$$\theta = \Omega \left(2,902 sh \alpha x - ch \alpha x - \frac{2x}{l} + 1 \right) \quad (1.16)$$

$$\varphi = \Omega \left(\frac{2,902}{\alpha} (ch \alpha x - 1) - \frac{1}{\alpha} sh \alpha x + x \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right) \quad (1.17)$$

$$\Omega = \frac{qe}{Gl_{кр}} \cdot \frac{l}{2}$$

где

Для оценки влияния стеснения деформации профиля на крутильную жесткость балки были вычислены углы закручивания в середине пролета (при $x = l$) без учета (φ_{*max}) и с учетом (φ_{max}) деформации:

$$\varphi_{*max} = \Omega \cdot 27,5$$

$$\varphi_{max} = \Omega \cdot 0,2919$$

Сопоставление показывает:

$$\varphi_{*max} / \varphi_{max} = 27,5 / 0,3 = 91,7$$

Таким образом, жесткое закрепление балки по торцам (соединение с зацепами) повышает ее жесткость на кручение примерно на порядок.

По мере увеличения длины прилета влияние деформации ослабевает (вполне соответствуя характеру задачи), но сохраняет свое влияние даже при относительно длинных балках.

Для анализа механического состояния моделей вычисляли напряжения σ и τ :

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= -E\omega \frac{d\theta}{dx}, \\ \tau &= \tau_1 + \tau_2, \\ \tau_1 &= GI_{кр} \cdot \frac{\theta}{W_{кр}} = Gt\theta, \\ \tau_2 &= -E \frac{d^2\theta}{dx^2} \cdot \frac{1}{t} \int_{A^*} \omega dA, \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

где $\int_{A^*} \omega dA$ - определяется для отсеченной части профиля по местоположению расчетной точки на основании эпюры ω (см. рис. 2.4-в).

Для определения положения опасного сечения необходимо рассмотреть зависимости $\frac{d\theta(x)}{dx}$ и совместно с эпюрами $Q_y(x)$ и $M_z(x)$.

По изложенной методике для модели типоразмера $l = 110$ см расчетным путем для $ql = 1000$ кг было получено:

$$\sigma_{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \approx 1360 \text{ кг/см}^2$$

Расчетный запас по текучести составил

$$n_{pm} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{III}} = \frac{2300}{1360} = 1,69$$

Это означает, что предельная расчетная нагрузка $F_{расч}$ может быть увеличена в 1,69 раза, т.е.

$$F_{расч} = ql \cdot 1,69 = 1690 \text{ кг}$$

По данным эксперимента соответствующая нагрузка составила

$$F_{расч} = 1,125 \text{ кг}$$

1.6.7. Стесненное кручение тонкостенного стержня открытого профиля.

Под стесненным кручением понимается такое кручение, при котором ограничена деформация сечений. К примеру для заземленного одним концом тонкостенного стержня перемещения для всех точек сечения в заделке равны нулю. По мере удаления от этого сечения деформация и удельный угол закручивания возрастают

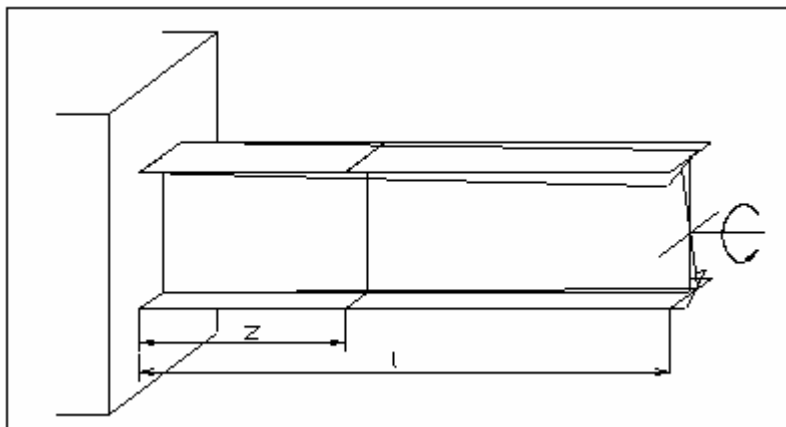


Рисунок 1.25 Стесненное кручение стержня

Нормальные напряжения в сечении образуют самоуравновешенную систему сил. Изгибающие моменты относительно осей x и y и нормальная сила равны нулю.

Секториальная площадь определяется относительно центра кручения. При стесненном кручении центр кручения совпадает с центром изгиба.

1.6.8. Общий случай нагружения тонкостенного стержня. Бимомент.

В общем случае осевые перемещения w могут быть представлены следующим выражением $w=w_0+\varphi_y x+\varphi_x y-\theta w$,

Где величины w_0 , φ_y и φ_x характеризуют смещения и поворот сечения как жесткого целого, а функция w взята в соответствии с главной эпюрой секториальной площади. Нормальные напряжения в сечении

$$\sigma = E \frac{dw}{dz} = E \left(\frac{dw_0}{dz} + \frac{d}{dz} \varphi_y x + \frac{d}{dz} \varphi_x y - \frac{d}{dz} \theta w \right) \quad (1.19)$$

умножаем это выражение последовательно на dF , xdF , $y dF$, $w dF$ и интегрируем по площади поперечного сечения. При этом учитываем, что оси x и y – главные, а эпюра w – эпюра главной секториальной площади. Получаем

$$N = EF \frac{dw_0}{dz} \quad (1.20)$$

$$M_y = EJ_y \frac{d}{dz} \varphi_y \quad (1.21)$$

$$M_x = EJ_x \frac{d}{dz} \varphi_x \quad (1.22)$$

$$B = -EJ_w \frac{d}{dz} \theta \quad (1.23)$$

В формуле 1.23 через B обозначена новая силовая характеристика, определяемая выражением и называемая бимоментом. Размерность бимомента кгсм^2 . В отличие от уже известных внутренних силовых факторов бимомент является самоуравновешенным фактором и из условий равновесия отсеченной части стержня быть определен не может. Бимомент характеризует изменения, вносимые в линейные зоны распределения напряжений деформации сечения. Смотри рис. 1.26

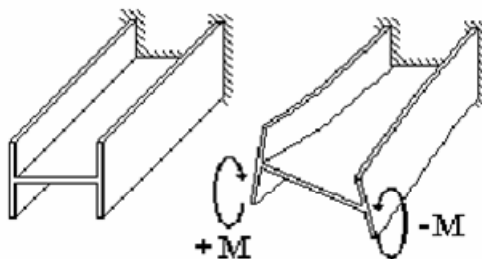


Рисунок 1.26 Иллюстрация действия бимомента

Касательные напряжения в поперечном сечении стержня в общем случае нагружения слагаются из напряжений простого кручения, из касательных напряжений поперечного изгиба и вторичных касательных напряжений стесненного кручения.

В результате получаем, что при внецентренном растяжении и сжатии тонкостенных стержней следует учитывать не только нормальную силу и изгибающие моменты в сечениях, но необходимо определить также и величину бимомента. Таким образом, если для стержня сплошного сечения положение плоскости действия внешнего момента не играло никакой роли, то для тонкостенного стержня положение этой плоскости является существенным.

1.6.9. Нормативные документы по проектированию и расчету тонкостенных профилей

Для расчета стальных конструкций существует ряд нормативных документов, которые полно описывают требования к расчету и проектированию конструкций и методики их осуществления. Приведем названия документов:

- СНиП 11-23-81 «Стальные конструкции»
- Свод правил по проектированию и строительству СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций» (одобрен письмом Госстроя РФ от 20 апреля 2004 г. N ЛБ-2596/9)
- Свод правил по проектированию и строительству СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций» (одобрен постановлением Госстроя РФ от 17 мая 1999 г. N 37)
- СТ СЭВ 3972-83 «Надежность строительных конструкций и оснований. Конструкции стальные. Основные положения о расчету.»

Однако они напрямую не дают рекомендаций к расчету и проектированию зданий и сооружений из тонкостенных стальных профилей.

1.6.10. Рекомендации по проектированию конструкций каркаса из холодногнутых стальных оцинкованных профилей

Рассмотренные выше теории нашли отражение в важном практическом материале. По заказу компании ООО «Балтпрофиль» были выпущены «Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства конструкций ООО «БалтПрофиль»[10]. Разработчик данных рекомендаций - заведующий лабораторией холодноформованных профилей и конструкций «ЦНИИПСК им. Мельникова», крупный ведущий специалист в области тонкостенных стержней Э.Л.Айрумян. В рекомендациях приводятся указания для расчетов как одиночных стержней, так и наиболее часто встречающихся конструкций – ферм, панелей, балок и пр.

В частности предлагается расчет на прочность элементов из профилей на центральное растяжение или сжатие N выполнять по формуле:

$$\frac{N}{F_p} \leq R_y \gamma_c \quad (1.24)$$

- при растяжении

$$\frac{N}{F_c} \leq R_y \gamma_c \quad (1.25)$$

- при сжатии

где $\gamma_c = 0,75$ – коэффициент условий работы;

F_p – полная площадь сечения профиля;

F_c – редуцированная площадь сечения профиля по табл.2-7 пособия.

Расчет на устойчивость элементов, подверженных центральному сжатию силой N , в пособии предлагается выполнять по формуле:

$$\frac{N}{\varphi F_c} \leq R_y \gamma_c \quad (1.26)$$

Значения φ предлагается определять в зависимости от гибкости.

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{r_{min}}$$

по табл. 72 СНиП II-23-81, где l_{ef} - расчетная длина;

r_{min} - минимальный радиус инерции сечения по табл. 2-7. (пособие [9])

Эти результаты получены на основании пункта 5.1-5.3 СНиП «Стальные конструкции» и испытаний, проведенных институтом им. Мельникова.

Под редуцирующим коэффициентом понимается число, меньшее единицы, при умножении на которое мы получаем меньшее значение расчетной площади. Введен этот коэффициент для случая сжатия стержня, для того, чтобы учесть возможную деформацию сечения и кручение. Тем самым редуцирующий коэффициент играет роль коэффициента надежности в расчетах.

Методическое пособие разработано для использования инженерами-конструкторами в ежедневной практической работе. Пособие написано на основании СНиП II-23-81 «Стальные конструкции», ЕВРОКОДА 3 часть 1-3 и самостоятельных исследований «ЦНИИПСК им. Мельникова». Нет сомнения в том, что данное пособие является прекрасным и точным документом для произведения практических расчетов конструкций.

Однако данное пособие ориентировано в значительной степени на традиционные технологии проектирования.

1.7. Автоматизация проектирования зданий и сооружений из легких холодногнутых стальных профилей.

При проектировании зданий с применением легких металлических конструкций чрезвычайно важно использовать соответствующее универсальное программное обеспечение 3D моделирования для металлоконструкций, которое позволяет сократить сроки проектирования и автоматически генерирует чертежи КМ /КМД и ведомость материалов.

Практика проектирования за последние двадцать лет ушла далеко вперед. Если раньше модель проектируемого здания существовала в виде набора чертежей (бумажных или электронных, создаваемых средствами САПР), то теперь модель – это так называемая *информационная модель здания* (она же BIM, или система информационного моделирования). Модель содержит информацию о всех (а не только геометрических) характеристиках здания, включая материалы, виды работ и прочее. Модель обладает двумя важными свойствами – внутренним единством и параметричностью [20].

В старой технологии проектирования изменение чертежа (файла) с планом здания требовало последующего внесения изменения в разрез, в спецификацию, в ведомость объемов строймонтажа и т.д. При этом существовала возможность внутреннего противоречия между двумя чертежами (файлами). В BIM-технологии планы, разрезы, виды являются производными от единой трехмерной модели здания и не могут противоречить друг другу. Это и есть *внутреннее единство*.

Параметричность означает автоматическое и контролируемое изменение параметров модели при изменении отдельных свойств элемента здания. Параметры представляют собой наборы характеристик, определяющих поведение элемента модели и его взаимодействие с другими элементами.

На рынке интеллектуальных технологий существует порядка 5-6 программ для проектирования металлоконструкций.

Однако, нет специализированной программы для одновременного выполнения расчетов и проектирования легких металлических профилей.

Из имеющихся программ мы выделили параметрические системы Allplan [21], SCIA [22], (в составе Allplan) и RealSTEEL [20] Все они имеют общий модуль расчетов SCAD[22], поэтому характеристики тонкостенных профилей в данной работе анализировались с использованием SCAD.

1.8. Выводы по главе. Постановка задачи исследования.

Исследование рынка металлической продукции выявило большой спрос на производство легких стальных тонкостенных конструкций. Технология легких стальных тонкостенных конструкций, а так же смежные с ней отрасли производства и строительства сегодня развивается быстрыми темпами.

Анализ ситуации вокруг технологии легких стальных тонкостенных конструкций показал отсутствие достаточно обширной теоретической базы для расчетов и проектирования конструкций из легкого металлического профиля и практического опыта использования современных специализированных компьютерных программ.

В публикациях на эту тему в основном используется описательный подход.

Техническая проблема – обеспечение прочности, устойчивости зданий из тонкостенного профиля.

Технологическая проблема – удобная, надежная и современная методика проведения расчетов и проектирования строительных конструкций из легкого металлического профиля.

Научная проблема – отсутствие исследований в области перфорированного профиля и особенностей его работы.

Из выше изложенного вытекают следующие задачи настоящей работы:

1. Разностороннее исследование геометрических характеристик профилей, оценка полученных результатов.
2. Исследование работы профиля с перфорацией, оценка результатов исследования
3. Расчет нагруженного стержня в программном комплексе SCAD и оценка полученных результатов.

Увеличение объемов и темпа строительства по технологии легких стальных тонкостенных конструкций отразиться на отрасли строительства в целом, что в свою очередь имеет большое значение для экономики страны.

2. Влияние перфорации на прочностные характеристики стержня из тонкостенного профиля

В данной работе Объектом исследования является тонкостенный стержень из термопрофиля, работающий под нагрузкой, как основа легких металлических каркасных конструкций. Расчет соединений профилей и конструкции узлов не рассматривались.

2.1. Модель стержня в общей параметрической модели здания.

Работа этих профилей в составе строительных конструкций под нагрузкой имеет следующие особенности:

- возможность потери местной устойчивости полок и стенок профилей при продольном сжатии, если соотношение их ширины и толщины превышает 60 [9]
- изгибаемые и сжатые профили несимметричного сечения работают с кручением.

Как уже отмечалось в предыдущей главе, имеющиеся «Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «БалтПрофиль»[10]обеспечили широкое использование данных профилей в отечественном строительстве.

Предлагаемая модель является дальнейшим развитием методов расчета и проектирования конструкций по технологии легких стальных тонкостенных конструкций.

2.2. Характеристики профиля

В качестве исследуемого профиля тонкостенного стержня из всей серийно производимой номенклатуры ООО «Балтпрофиль» выбран профиль ТН-175-1,2 как наиболее типичный, широко применяемый и отражающий особенности профилей данного типа.

2.2.1. Геометрия профиля

Форма сечения профиля, близкая к швеллеру, показана на рис. 2.1, а его основные геометрические характеристики следующие:

Таблица 2.1

высота сечения, см	толщина профиля, мм	площадь сечения, см ²	масса 1м длины, кг	ширина заготовки, мм
175	1,2	3,24	2,63	270

Стержень имеет шесть продольных дорожек с просечками.

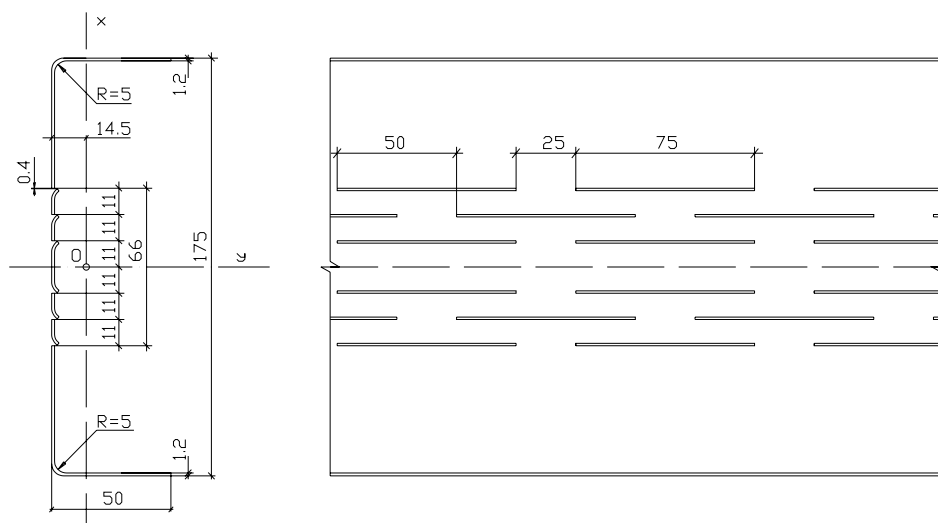


Рисунок 2.1 Схема исследуемого стержня

Просечки стержня выполняются вращающимся ножом на гибочном станке в рамках единого технологического процесса получения его из заготовки, см рис.2.3. При этом в месте сечения сталь не изымается, а образуется прорезь, в месте которой сечение отгибается. Ширина прорези контролируется щупом и составляет 0,4мм. Гибочный станок представлен на рис. 2.1

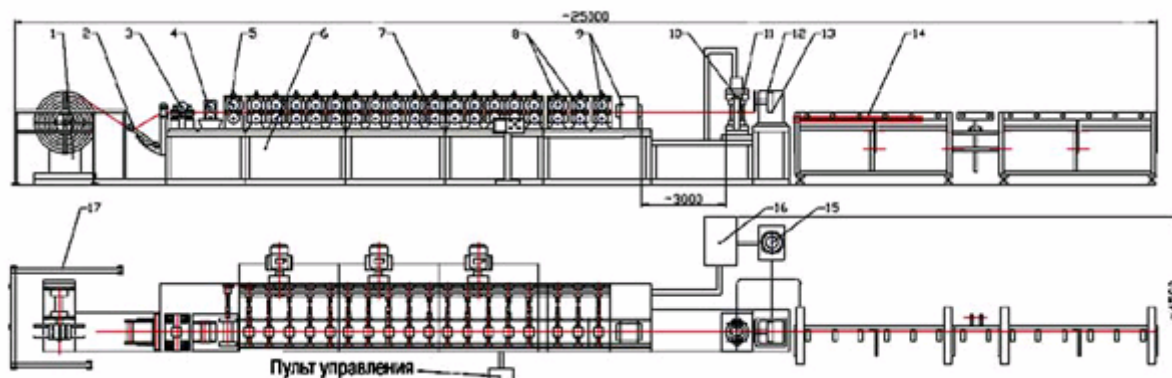


Рисунок 2.2 Схема гибочного станка



Рисунок 2.3 Фотография рабочего помещения компании ООО «Балтпрофиль»

Таким образом, при выполнении просечек исходная площадь заготовки не изменяется, но изменяются прочностные и геометрические показатели профиля.

Без исследования нельзя сказать, как просечки будут влиять на прочностные и деформационные характеристики стержня. Можно предположить, что для определенного вида нагрузок образовавшиеся полки отогнутого металла могут даже увеличивать площадь стержня.

При расчете характеристик профиля мы использовали декартову систему координат с расположением осей:

- ось x вдоль просеченной плоскости,
- ось y параллельно полкам,
- ось z вдоль длины стержня.

Центр координат расположен в точке O, см. рис 2.1.

2.2.2. Сопротивления материала профиля

Расчетные сопротивления стали, из которой изготавливаются профили, приводятся в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Напряжение состояние	Нормативное сопротивление, МПа		Расчётное сопротивление, МПа	
	предел текучести	временное сопротивление	по пределу текучести	по временному сопротивлению
Растяжение, сжатие и изгиб	280	370	255	330
Сдвиг (срез)			150	-
Смятие			-	330

2.2.3. Жесткостные характеристики стержня

Для расчета стержня методом конечных элементов на его основе геометрических и прочностных характеристик необходимо задать его жесткостные характеристики.

Для универсального пространственного стержневого конечного элемента задают следующие жесткостные характеристики (всего стержня или его упругой части при наличии жестких вставок на концах стержня):

- EF - продольная жесткость;
- EI_Y - изгибная жесткость относительно оси Y_1 ;
- EI_Z - изгибная жесткость относительно оси Z_1 ;
- GIk - крутильная жесткость;

Если учитывается сдвиговая деформация стержня, то задаются:

- GF_y - сдвиговая жесткость относительно оси Y ;
- GF_z - сдвиговая жесткость относительно оси Z .

В качестве дополнительной информации, необходимой при некоторых видах расчетов, эти численные характеристики необходимо дополнять информацией о модуле упругости материала и коэффициенте Пуассона.

Жесткостные характеристики могут вводиться численно, но в рамках современных технологий проектирования, использующих SCAD Office, их следует получать как результат работы программы Тонус.

2.3. Влияние просечек (термощелей) на геометрические характеристики сечения стержня

Наличие просечек существенно осложняет исследование характеристик стержня из термопрофиля. Оценим влияние просечек на геометрические характеристики сечения стержня, а следовательно и на жесткостные характеристики стержня.

Проведем сравнение геометрических характеристик для нескольких типов профилей различной толщины.

Нижеприведенные таблицы взяты из «Рекомендаций по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО конструкций «БалтПрофиль»[9]. Далее в тексте для удобства будем называть данный документ просто «Рекомендации ...».

Таблица 2.3

Расчетные характеристики для гнутых профилей (ПН)

Обозначение профиля	Высота сечения- h , мм	Толщина профиля, t , мм	Площадь сечения, $F_{гр}(F_c)$, см ²	Масса 1 м. длиной, кг.	Расчетные справочные величины для профилей при изгибе							Ширина заготовки, мм
					момент инерции	момент сопротивления	момент инерции	момент сопротивления	радиус инерции	радиус инерции		
					I_x	W_x	I_y	W_y	r_x	r_y	Z_0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ПН-150-0,8	150	0,8	1,96(0,64)	1,55	3,76	1,07	54,2	5,72	1,38	5,26	1,66	245
ПН-154-0,8	154	0,8	2,0(0,64)	1,57	3,76	1,07	57,7	5,96	1,37	5,37	1,66	250
ПН-175-0,8	175	0,8	2,16(0,64)	1,81	3,76	1,07	79,0	7,33	1,32	6,05	1,66	270
ПН-179-0,8	179	0,8	2,2(0,64)	1,83	3,76	1,07	83,6	7,59	1,31	6,16	1,66	275
ПН-200-0,8	200	0,8	2,36(0,64)	1,97	3,76	1,07	110,0	9,09	1,26	6,83	1,66	295
ПН-204-0,8	204	0,8	2,4(0,64)	1,99	3,76	1,07	115,6	9,37	1,25	6,94	1,66	300
ПН-150-1,0	150	1,0	2,45(0,96)	1,92	4,97	1,38	71,7	7,63	1,42	5,41	1,55	245
ПН-154-1,0	154	1,0	2,5(0,96)	1,95	4,97	1,38	76,3	7,93	1,41	5,52	1,55	250
ПН-175-1,0	175	1,0	2,7(0,96)	2,21	4,97	1,38	104,0	9,7	1,36	6,21	1,55	270
ПН-179-1,0	179	1,0	2,75(0,96)	2,25	4,97	1,38	110,0	10,04	1,34	6,32	1,55	275
ПН-200-1,0	200	1,0	2,95(0,96)	2,42	4,97	1,38	144,4	12,0	1,3	7,0	1,55	295
ПН-204-1,0	204	1,0	3,0(0,96)	2,45	4,97	1,38	151,5	12,35	1,29	7,11	1,55	300
ПН-150-1,2	150	1,2	2,94(1,34)	2,39	6,24	1,68	90,5	9,72	1,46	5,55	1,43	245
ПН-154-1,2	154	1,2	3,0(1,34)	2,43	6,24	1,68	96,4	10,12	1,44	5,67	1,43	250
ПН-175-1,2	175	1,2	3,24(1,34)	2,63	6,24	1,68	130,9	12,3	1,39	6,36	1,43	270

Выделим профиля ПН-150-0.8, ПН 150-1.0, ПН-175-1.2

Таблица 2.4

Расчетные характеристики для гнутых профилей (ПС)

Обозначение профиля	Высота сечения- h , мм	Толщина профиля, t , мм	Площадь сечения, $F_{гр}(F_c)$, см ²	Масса 1 м. длиной, кг.	Расчетные справочные величины для профилей при изгибе							Ширина заготовки, мм
					момент инерции	момент сопротивления	момент инерции	момент сопротивления	радиус инерции	радиус инерции		
					I_x	W_x	I_y	W_y	r_x	r_y	Z_0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ПС-150-0,8	150	0,8	2,16(1,17)	1,8	6,0	2,0	73,6	9,03	1,67	5,84	2,1	270
ПС-175-0,8	175	0,8	2,36(1,17)	1,97	6,0	2,0	105,4	11,1	1,59	6,68	2,1	295
ПС-200-0,8	200	0,8	2,48(1,17)	2,15	6,0	2,0	145,0	13,5	1,56	7,65	2,1	310
ПС-150-1,0	150	1,0	2,7(1,7)	2,2	7,93	2,54	91,4	12,19	1,71	5,82	1,97	270
ПС-175-1,0	175	1,0	2,95(1,7)	2,41	7,93	2,54	131,1	15,0	1,64	6,67	1,97	295
ПС-200-1,0	200	1,0	3,1(1,7)	2,61	7,93	2,54	180,4	18,04	1,6	7,63	1,97	310
ПС-150-1,2	150	1,2	3,24(2,14)	2,62	10,15	3,07	108,6	14,48	1,77	5,79	1,85	270
ПС-175-1,2	175	1,2	3,54(2,14)	2,87	10,15	3,07	156,7	17,91	1,69	6,65	1,85	295
ПС-200-1,2	200	1,2	3,72(2,14)	3,11	10,15	3,07	215,5	21,55	1,65	7,61	1,85	310
ПС-150-1,5	150	1,5	4,05(2,85)	3,28	13,32	3,9	135,8	18,1	1,81	5,79	1,69	270
ПС-175-1,5	175	1,5	4,43(2,85)	3,59	13,32	3,9	195,0	22,3	1,73	6,63	1,69	295
ПС-200-1,5	200	1,5	4,65(2,85)	3,92	13,32	3,9	268,4	26,84	1,69	7,6	1,69	310
ПС-250-1,5	250	1,5	5,55(2,85)	4,56	13,32	3,9	453,8	36,6	1,55	9,04	1,69	370

Выделим профиля ПС-150-0.8, ПС 150-1.2, ПС-200-1.5

Таблица 2.5

Расчетные характеристики для гнутых профилей (С)

Обозначение профиля	Высота сечения, h , мм	Толщина профиля, t , мм	Площадь сечения, F , см ²	Масса 1 м. длины, кг.	Расчетные справочные величины для профилей при изгибе							Ширина заготовки, мм
					момент инерции	момент сопротивления	момент инерции	момент сопротивления	радиус инерции	радиус инерции		
					I_x см ⁴	W_x см ³	I_y см ⁴	W_y см ³	r_x см	r_y см	Z_0 см	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C-100-0,8	100	0,8	1,68(1,2)	1,37	4,22	1,66	28,0	5,07	1,58	4,08	1,92	210
C-120-0,8	120	0,8	1,8(1,2)	1,49	4,22	1,66	43,5	6,5	1,53	4,92	1,92	225
C-150-0,8	150	0,8	2,0(1,2)	1,59	4,22	1,66	73,2	8,85	1,46	6,1	1,92	250
C-200-0,8	200	0,8	2,4(1,2)	2,02	4,22	1,66	145,0	13,3	1,33	7,77	1,92	300
C-100-1,0	100	1,0	2,1(1,65)	1,69	5,61	2,13	35,3	6,87	1,63	4,1	1,79	210
C-120-1,0	120	1,0	2,25(1,65)	1,84	5,61	2,13	54,2	8,81	1,58	4,91	1,79	225
C-150-1,0	150	1,0	2,5(1,65)	2,08	5,61	2,13	90,9	11,85	1,5	6,03	1,79	250
C-200-1,0	200	1,0	3,0(1,65)	2,49	5,61	2,13	180,4	17,7	1,37	7,75	1,79	300
C-100-1,2	100	1,2	2,52(2,08)	2,01	7,26	2,58	42,1	6,83	1,7	4,09	1,68	210
C-120-1,2	120	1,2	2,7(2,08)	2,19	7,26	2,58	64,7	8,76	1,64	4,9	1,68	225
C-150-1,2	150	1,2	3,0(2,08)	2,47	7,26	2,58	108,6	11,8	1,56	6,02	1,68	250
C-200-1,2	200	1,2	3,6(2,08)	2,96	7,26	2,58	215,6	17,63	1,42	7,73	1,68	300
C-100-1,5	100	1,5	3,15(2,8)	2,49	9,6	3,27	52,2	10,2	1,75	4,07	1,54	210
C-120-1,5	120	1,5	3,38(2,8)	2,72	9,6	3,27	77,8	12,7	1,69	4,8	1,54	225

Выделим профили C-100-0,8, C 120-1,0, C-150-1,2

Произведем для этих профилей расчет в программе ТОНУС

Сравнительный анализ результатов см в табл. 2.6-2.8

Исследование будет проводиться расчетным путем, без натуральных испытаний. Для расчетов будет использована программа ТОНУС, а так же «Рекомендации...»[9], разработанные крупным специалистом в области тонкостенных стержней Э.Л. Айрумяном.

Программа ТОНУС создана группой разработчиков SCAD Group и является программой-сателлитом в расчетном комплексе SCAD Office [23]. Программа производит расчеты по теории В.З. Власова для стержней с открытым профилем и по теории Е.А. Бейлина для стержней замкнутого профиля.

2.3.1. Профили без просечек (сплошного сечения)

В связи с этим воспользуемся расчетом в программе Тонус, входящей в состав сателлит программного комплекса SCAD Office.

Как известно, для сконструированного сечения программа Тонус определяет:

- площадь поперечного сечения A ;
- значения моментов инерции I_y и I_z относительно центральных осей, параллельных координатным осям Y и Z ;
- радиусы инерции i_y и i_z относительно тех же осей;
- момент инерции при свободном кручении I_t ;
- координаты центра масс;
- значение угла наклона главных центральных осей инерции (угол α между осями U и Y);
- максимальный I_u и минимальный I_v моменты инерции;
- максимальный i_u и минимальный i_v радиусы инерции;
- максимальный W_{u+} и минимальный W_{u-} моменты сопротивления относительно оси U ;
- максимальный W_{v+} и минимальный W_{v-} моменты сопротивления относительно оси V ;
- ядровое расстояние от оси U , отсчитываемое вдоль положительного (a_{u+}) и отрицательного (a_{u-}) направления оси V ;

- ядровое расстояние от оси V , отсчитываемое вдоль положительного ($av+$) и отрицательного ($av-$) направления оси U ;
- периметры сечения: полный — P , внешний — P_e и внутренний — P_i ;
- условные площади среза (Av,y, Av,z);
- моменты инерции относительно системы координат, в которой создавалось сечение;
- координаты центра изгиба;
- секториальный момент инерции.

Программа создает файл с расширением .tns, в котором содержатся и геометрия профиля и результаты расчета, которые могут быть использованы при дальнейшем исследовании напряженно-деформированного состояния, в частности, при задании исходных данных в любой программе прочностного расчета. Кроме того, программа может быть использована для определения жесткостных характеристик зданий и сооружений и их элементов. Сама программа Тонус позволяет получить поля нормальных напряжений, если заданы внутренние усилия в сечении.

Первоначально установим, как сочетаются результаты расчета в программе с табличными данными «Рекомендаций по проектированию». Для этого произведем расчет для ряда профилей без просечки. Для более точных и полных результатов выберем по три типоразмера профиля трех типов сечения – ПН, ПС и С.

Таблица 2.6

	профиль	площадь сечения	радиус инерции		момент инерции		момент сопротивления	
			gx	gy	Ix	Iy	Wx	Wy
«Рекомендации...»	ПН-150-0.8	1,96 (0,64)	1,38	5,26	3,76	54,2	1,07	5,72
Тонус		2	1,53	5,81	4,67	67,5	1,17	8,95
«Рекомендации...»	ПН-150-1.0	2,45 (0,96)	1,42	5,41	4,97	71,7	1,38	7,63
Тонус		2,5	1,53	5,81	5,83	84,38	1,45	11,17
«Рекомендации...»	ПН-175-1.2	3,24 (1,24)	1,39	6,36	6,24	130,9	1,68	12,3
Тонус		3,3	1,48	6,64	7,28	145,47	1,77	16,51

Таблица 2.7

	профиль	площадь сечения	радиус инерции		момент инерции		момент сопротивления	
			gx	gy	Ix	Iy	Wx	Wy
«Рекомендации...»	ПС-150-0.8	2,16 (1,17)	1,67	5,84	6,0	73,6	2,0	9,03
Тонус		2,24	1,9	5,92	8,12	78,49	2,21	10,41
«Рекомендации...»	ПС-150-1.2	3,24 (2,14)	1,77	5,79	10,15	108,6	3,07	14,48
Тонус		3,37	1,91	5,92	12,32	118,14	3,36	15,58
«Рекомендации...»	ПС-200-1.5	4,65 (2,85)	1,69	7,60	13,32	268,4	3,9	26,84
Тонус		4,96	1,83	7,65	16,65	290,46	4,29	28,69

Таблица 2.8

	профиль	площадь сечения	радиус инерции		момент инерции		момент сопротивления	
			gx	gy	Ix	Iy	Wx	Wy
«Рекомендации...»	С-100-0.8	1,68 (1,2)	1,58	4,08	4,22	28	1,66	5,07
Тонус		1,79	1,77	4,03	5,66	28,99	1,84	5,51
«Рекомендации...»	С-120-1.0	2,25 (1,65)	1,58	4,91	5,61	54,2	2,13	8,81
Тонус		2,45	1,77	4,78	7,71	55,78	2,41	8,91
«Рекомендации...»	С-150-1.2	3,0 (2,08)	1,56	6,02	7,26	108,6	2,58	11,8
Тонус		3,29	1,73	5,85	9,99	112,78	2,98	14,5

Для всех профилей был произведен полный расчет в программе ТОНУС.

Из таблиц видно, что значения, приведенные в «Рекомендациях...» [9] отличаются от значения, полученных в ТОНУСе. Наибольшая разница в значениях характеристик

профилей составляет 32,3%, это значение получено для значения W_u из таблицы 2.6 для профиля ПН-175-1.2

Такое расхождение является весьма значительным. Выясним, за счет чего это произошло.

В рекомендациях по проектированию приведенные геометрические характеристики определены на основе редуцированной площади.

Редуцированная площадь – это площадь, уменьшенная за счет умножения на редуцирующий коэффициент (редуцированная (уменьшенная) площадь сечения граней, потерявших местную устойчивость, определялась с учетом требования табл .6 СНиП 11-23-81* «Стальные конструкции» [25].

Метод редуцированной площади применяется в расчетах на сжатие и изгиб. При расчете на растяжение указания рекомендуют применять истинные значения.

Из этого можно сделать вывод, что при расчетах в ручную необходимо для быстроты работы использовать рекомендации «Пособия...» [9]. Для расчетов с использованием программных комплексов на основе результатов ТОНУС необходимо использовать дополнительные коэффициенты условий работы и выполнять рекомендации по конструированию.

2.3.2 Профили с просечками (термопрофили)

При моделировании и расчете характеристик стержня сложность представляет задание сечения с просечками.

Представление просечек в виде продольных сплошных прорезей приводит к сечению из несвязных частей, и Тонус проводит только его неполный расчет. Момент инерции при свободном кручении, секториальный момент инерции, координата центра изгиба по оси Y , координата центра изгиба по оси Z , внутренний и внешний периметр не рассчитывается. Использование таких характеристик для задания параметров стержня в SCAD представляется невозможным.

Мы предлагаем моделировать просечки в Тонусе в виде локального уменьшения толщины металла в сечении. При этом толщина металла в месте расположения просечки в сечении уменьшается пропорционально отношению длины продольного расстояния между просечками к сумме длины просечки и длины продольного расстояния между просечками.

Для длины просечки 75 мм и расстояние между просечками 25 мм получаем, что толщина металла в месте локального утоньшения составит $\frac{1}{4}$ от полной толщины металла профиля.

Толщина исследуемого профиля составляет 1,2 мм и, следовательно, толщина локального утоньшения составит 0,3 мм.

Ширина локального утоньшения металла задается в пределах от 0 мм (используем аналогичный профиль ПН-175-1,2) до 270 мм, т.е. полной ширины заготовки.

В таблице 2.9, для удобства построения графика, длина локального утоньшения заменена на суммарную площадь утоньшения по всей длине заготовки.

В профиле 6 рядов просечек. Суммарная площадь утоньшений рассчитана следующим образом:

$$S = 6 \times 0.3 \text{ мм} \times \text{длину локального утоньшения, мм.}$$

Таким образом, изменяя длину локального утоньшения мы построили график, см рис.2.4

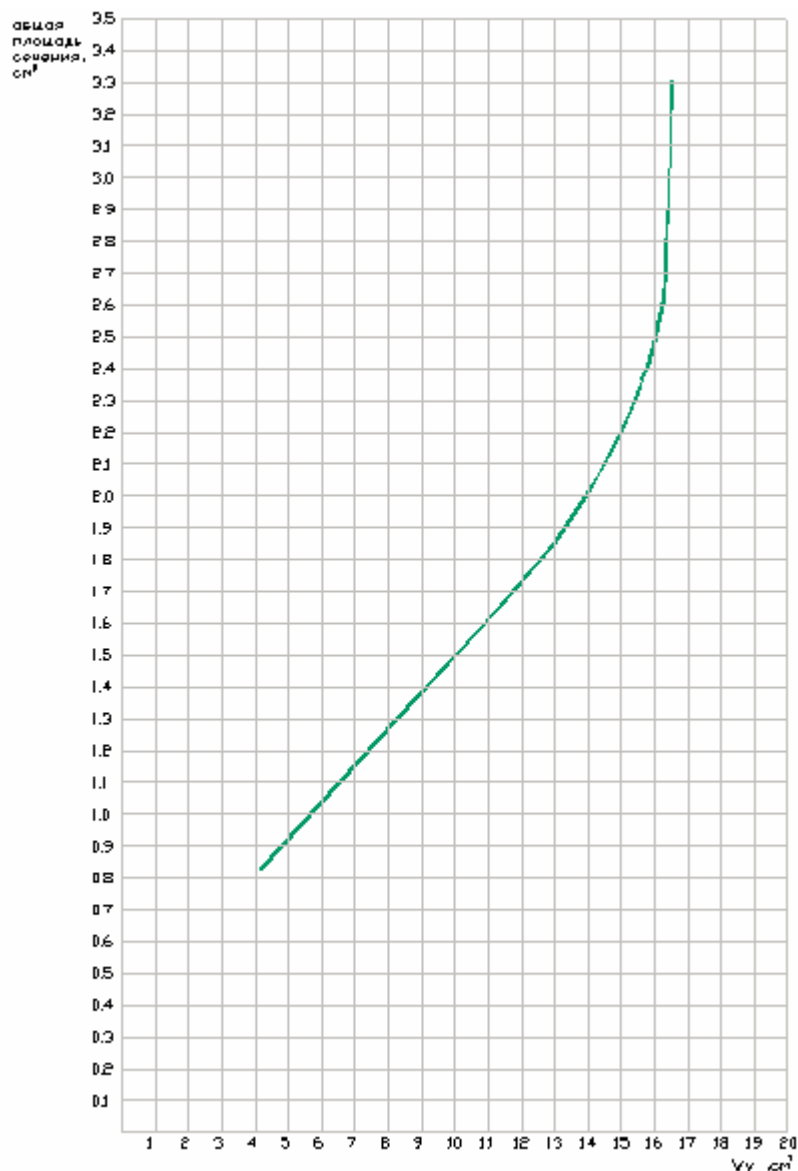


Рисунок 2.4 График, отражающий зависимость изменения момента сопротивления от изменения длины локального утоньшения металла

В таблице 2.9 отражена выборка результатов для удобства дальнейшей работы.

Таблица 2.9

Профиль	площадь сечения	радиус инерции		момент инерции		момент сопротивления	
		gx	gy	Ix	Iy	Wx	Wy
ТН-175-1.2	3,3	1,48	6,64	7,28	145,47	1,77	16,51
	3,25	1,49	6,69	7,31	145,95	1,79	16,54
	3,09	1,52	6,85	7,16	145,09	1,77	16,44
	2,8	1,56	7,18	6,85	144,3	1,73	16,36
	2,71	1,57	7,29	6,75	144,08	1,73	16,33
	2,23	1,64	7,74	6,01	133,3	1,64	15,11
	1,87	1,67	7,87	5,22	115,52	1,53	13,09
	1,73	1,67	7,82	4,84	105,9	1,48	12
	1,37	1,8	7,56	4,46	78,4	1,45	8,87
0,83	1,49	6,65	1,84	36,6	0,44	4,17	

Из графика (рис.2.5) мы видим, что в области от 2,71 см² до 3,30 см² значение момента сопротивления Wy изменяется в пределах от 16,33 см³ до 16,51 см³, что составляет 1,2%.

При этом значению $W_y=16,33 \text{ см}^3$ соответствует суммарная длина локального утоньшения $L=66\text{мм}$, т.е. области начала первой линии просечек до последней линии просечек.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что влияние просечек на прочность сечения составляет 1,2%, что менее 5% и его можно считать незначительным.

В рекомендациях по проектированию при расчетах профиля с просечками рекомендуется изымать область просечки.

Можно сделать предположительный вывод о том, что при расчете по методическим указаниям, некоторое значение прочности идет в запас.

Далее посмотрим, как изменяются характеристики сечения, если последовательно изменять толщину всего сечения. Для этой цели в качестве модели возьмем профиль ПН-175-1.2. будем последовательно уменьшать толщину сечения до значения 0,1мм.

Построим график, см рис. 2.6.

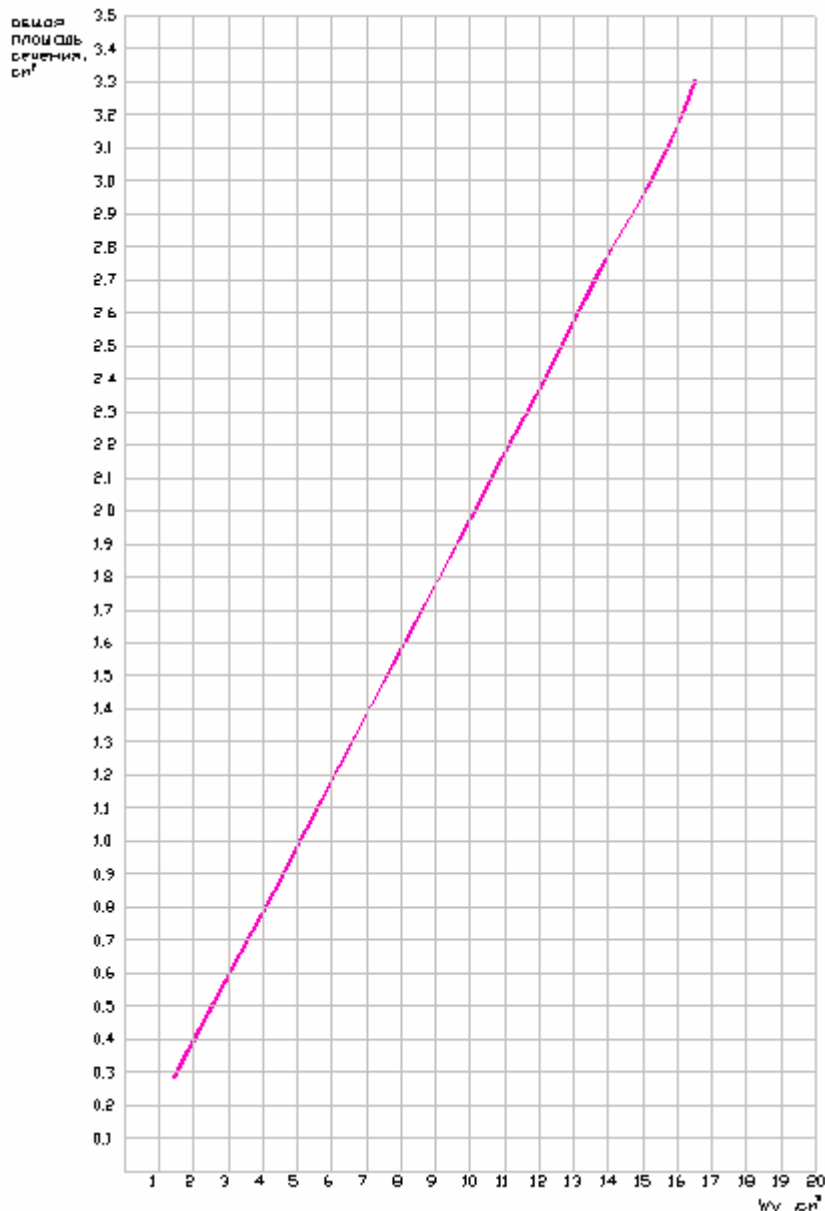


Рисунок 2.5 График, отражающий зависимость момента сопротивления от толщины сечения профиля.

В таблице 2.10 отражена выборка результатов для удобства дальнейшей работы.

Таблица 2.10

профиль	толщина сечения, мм	площадь сечения	радиус инерции		момент инерции		момент сопротивления	
			гх	гy	Ix	Iy	Wx	Wy
ПН-175-1.2	1,2	3,3	1,48	6,64	7,28	145,47	1,77	16,51
	1,1	3,05	1,52	6,67	7,09	136,09	1,69	15,51
	1,0	2,78	1,52	6,67	6,44	123,71	1,54	14,02
	0,9	2,5	1,52	6,67	5,79	111,37	1,39	12,63
	0,8	2,22	1,52	6,67	5,15	98,97	1,23	11,23
	0,7	1,94	1,52	6,67	4,51	86,59	1,08	9,83
	0,6	1,67	1,52	6,67	3,86	74,23	0,93	8,43
	0,5	1,39	1,52	6,67	3,22	61,86	0,77	7,03
	0,4	1,11	1,52	6,67	2,57	49,49	0,62	5,63
	0,3	0,83	1,52	6,67	1,93	37,11	0,46	4,22
	0,2	1,56	1,52	6,67	1,29	24,74	0,31	2,82
	0,1	0,28	1,52	6,67	0,64	12,37	0,15	1,41

Совместим графики 2.5 и 2.6.

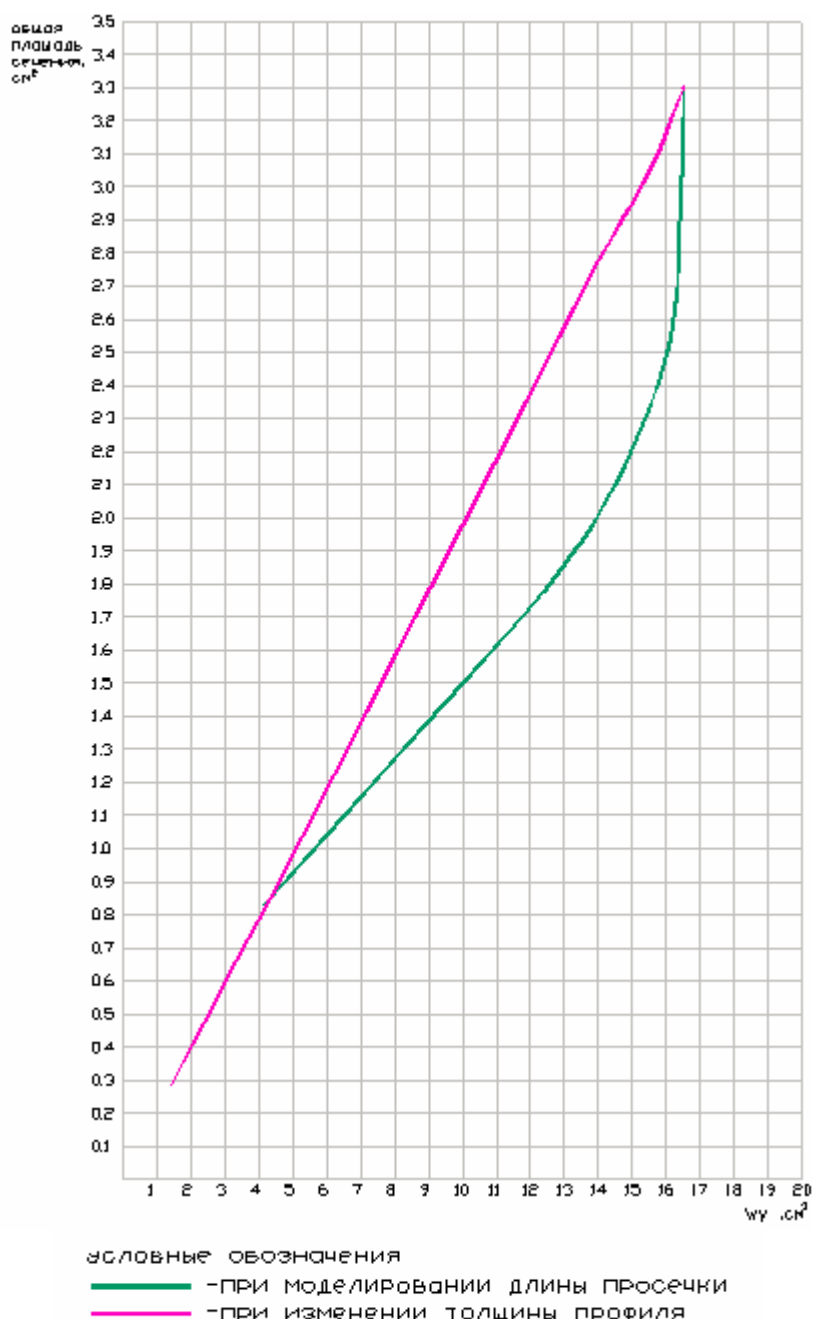


Рисунок 2.6 графики зависимости момента сопротивления от площади сечения стержня

После совмещения мы видим расхождение значений на участке площади стержня от $3,3 \text{ см}^2$ до $0,85 \text{ мм}^2$. Из этого мы можем делать вывод, что при расчетах, замещение стержня, имеющего просечки эквивалентным ему по высоте стержню без просечек той же площади не является оптимальным путем решения задачи. Поскольку запас при этом методе расчета является очень большим, что технически не оправдано и экономически не выгодно.

С позиции исследования геометрических характеристик мы выяснили, что влияние просечек на геометрические характеристики профиля не является существенным.

При моделировании просечек как локального утоньшения металла, даже при площади утоньшения больше эквивалентной ему площади просечек геометрические характеристики изменяются в пределах 5%. Определение геометрических характеристик при исключении перфорированной части стенки не проводилось.

2.3.3. Сравнение результатов расчета стержня с просечками и без просечек

Мы сделали предположительный вывод о том, что просечки не имеют особого влияния на расчетные показатели стержня. Теперь проверим этот результат на примере расчета стержня, длиной 1м, нагруженного равномерно-распределенной нагрузкой по всей длине.

Рассчитаем стержень ПН-175-1.2 и аналогичный ему стержень с просечками ТН-175-1.2 в программе SCAD.

Посмотрим разницу в результатах расчета профиля с просечками и без них.

Значение $R_y=2601 \text{ кг/см}^2$ [9]

Показатели нагрузки и расчетная схема представлены в п. 3.1.1 и 3.1.2 данной работы.

Геометрические характеристики профилей считаны из соответствующих файлов программы Тонус.

Результат расчета профиля ПН-175-1,2 в программе SCAD (без просечек):

Таблица 2.11

N сечен.	Усилия и напряжения, т,м					
	N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
1	0	0	-0,08355	0,500305	0	0
2	0	0	0,041775	-0,0005	0	0
3	0	0	-0,08355	-0,50131	0	0

Результат расчета профиля ТН-175-1,2 в программе SCAD (с просечками):

Таблица 2.12

N сечен.	Усилия и напряжения, т,м					
	N	Mk	My	Qz	Mz	Qy
1	0	0	-0,08355	0,500274	0,000012	0,000075
2	0	0	0,041772	-0,0005	0	0
3	0	0	-0,08355	-0,50128	0,000012	0

Если сопоставить эти результаты и высчитать процент расхождения, получим, что результаты отличаются на 0,006%.

Результаты расчетов подтвердили, что просечки можно не учитывать.

Далее рассмотрим возникающие перемещения при различных способах моделирования стержня в программе SCAD.

3. Моделирование стержня в программе СКАД для анализа возникающих перемещений.

Выше мы исследовали стержень для того, чтобы выяснить влияние области перфорации на расчет стержня. Следующая задача - рассмотреть картину возникающих перемещений по всей длине элемента. Это производится для того, что бы выяснить, насколько корректны результаты, полученные в п. 2.3.1.3.

Для выполнения этой задачи смоделируем стержень (расчетная схема см рис. 2.4, 2.5) двумя способами: первый – стержневыми элементами, тип 5; второй – 4-х угольными конечно элементными оболочками, тип 44.

3.1. Характеристики стержня

3.1.1. Показатели нагрузки, приложенной к стержню.

Нагрузка на стержень задается как равномерно-распределенная по всей длине стержня.

Значение нагрузки равно $q=1000 \text{ кг/м}$.

Расчетная схема приведена на рис. 2.4

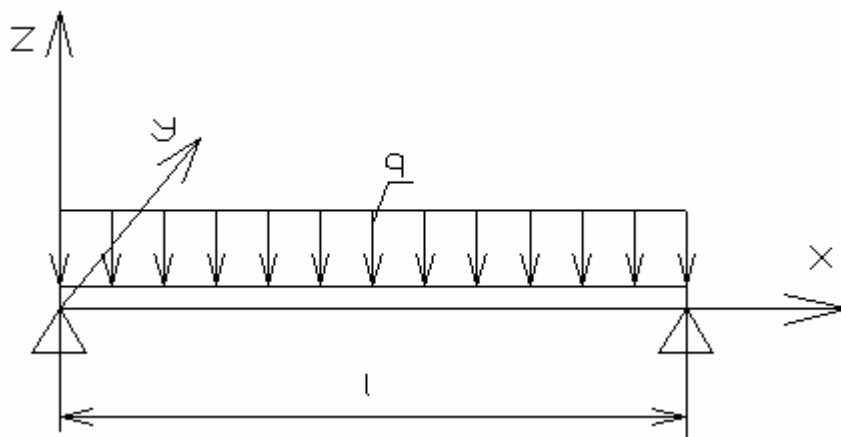


Рисунок 3.1 Расчетная схема стержня

3.1.2. Способ закрепления торца

В главе 1, пункт 1.6.6.2 при выполнении расчетов на кручение торцы стержня предполагались жестко заделанными. Однако в натуральных условиях абсолютно жесткого закрепления обеспечить не удалось. Однако этот результат показал, что тонкостенный стержень показывает большие показатели жесткости при «подвижной» заделке. Теоретическое объяснение этому факту можно найти в главе 1, пункт 1.6.5.

Подобные закрепления так же используются в технологии легких стальных тонкостенных конструкций. Элементы конструкции соединяются на болтах через соединительные элементы, см главу 1, пункт 1.5.3.

Поэтому, для наших исследований примем число степеней свободы, равное 3: два линейных перемещения и один угол поворота.

Стержень закреплен по обоим концам.

Расчетную схему смотри на рис.

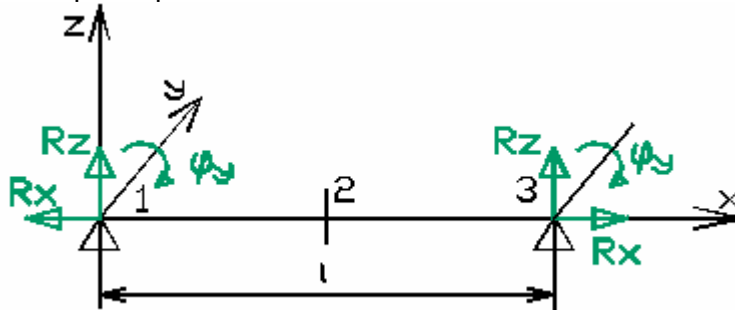


Рисунок 3.2 Схема закрепления торцов стержня

Номерами 1,2,3 указаны сечения, для которых мы вычислим числовые значения напряжений и внутренних силовых факторов.

3.2. Стержневая модель элемента

Общая длина стержня равна 1 м,. Разбиваем стержень на 20 элементов, длиной по 5 см каждый. Такое разбиение стержня было сделано для более точного анализа перемещений и дальнейшего сравнения результатов со второй моделью.

Схема, подготовленная к расчету в программе SCAD представлена на рис. 2.9.

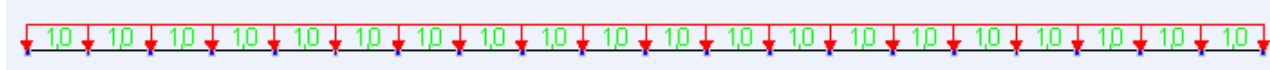


Рисунок 3.3 Стержневая модель элемента

После проведения расчетов получили следующие перемещения, см рис. 2.10 и 2.11

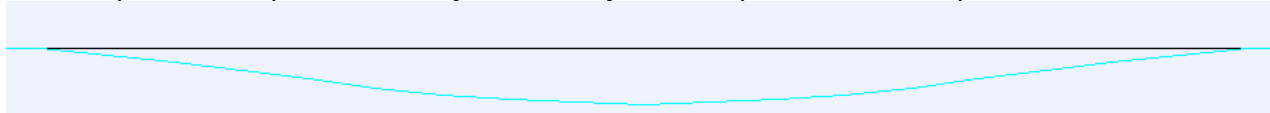


Рисунок 3.4 Схема перемещений

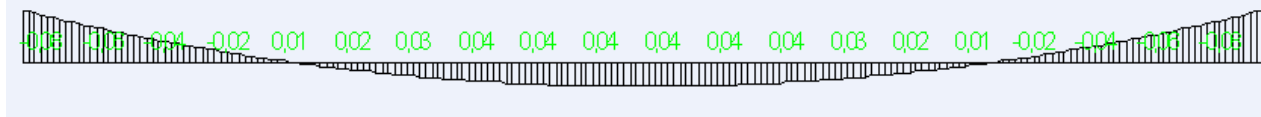
Голубым цветом показано положение переместившихся узлов.

0 0,003 0,011 0,022 0,034 0,047 0,059 0,069 0,077 0,082 0,084 0,082 0,077 0,069 0,059 0,047 0,034 0,022 0,011 0,003 0

Рисунок 3.5 Численные значения перемещений

Наибольшее перемещение возникает в центре стержня, значение перемещения равно 0.084 мм.

Эпюры усилий в стержне выглядят следующим образом:

Рисунок 3.6 Эпюра M_u Рисунок 3.7 Эпюра Q_z

3.3. Оболочечная модель элемента

Для выполнения этой задачи смоделируем стержень как совокупность оболочечных элементов, образующих форму стержня.

Расчетная схема представлена на рис. 2.12.

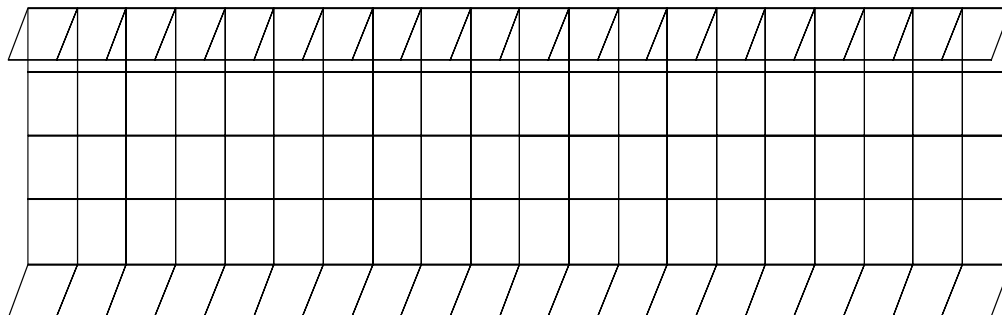


Рисунок 3.8 Оболочечная модель элемента

На рисунке размеры одного оболочечного элемента равны 5х5см. (из расчета, что полка стержня равна 5 см).

Данная модель получена следующим образом: схема элемента была создана в программе AllPlan, далее экспортирована в программу FORUM – программа-сателлит комплекса SCAD Office. В программе FORUM мы задали модели шаг разбиения на оболочечные элементы. Это было выполнено с целью получения большего количества расчетных сечений на профиле и соответственно более точных результатов расчета стержня. В программе FORUM мы задались шагом разбиения на элементы, равному 5 см (из расчета, что полка стержня равна 5 см), т.е. один элемент имеет размеры 5х5 см. Далее эту модель экспортировали в программу SCAD для дальнейших расчетов.

Этот метод расчета стержня может быть применим на практике для расчета наиболее ответственных участков конструкций, а так же отдельных элементов, когда необходимо получить расчет с большей точностью. При этом шаг разбиения на элементы может быть очень маленьким.

После расчетов получили следующие данные, см рис. 2.13 и 2.14

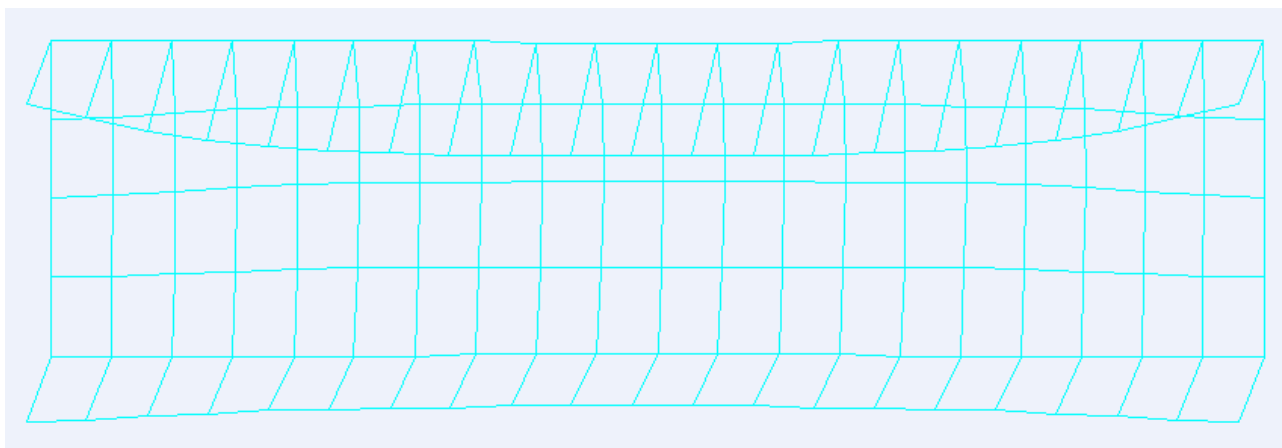


Рисунок 3.9 Изображение перемещений элементов.

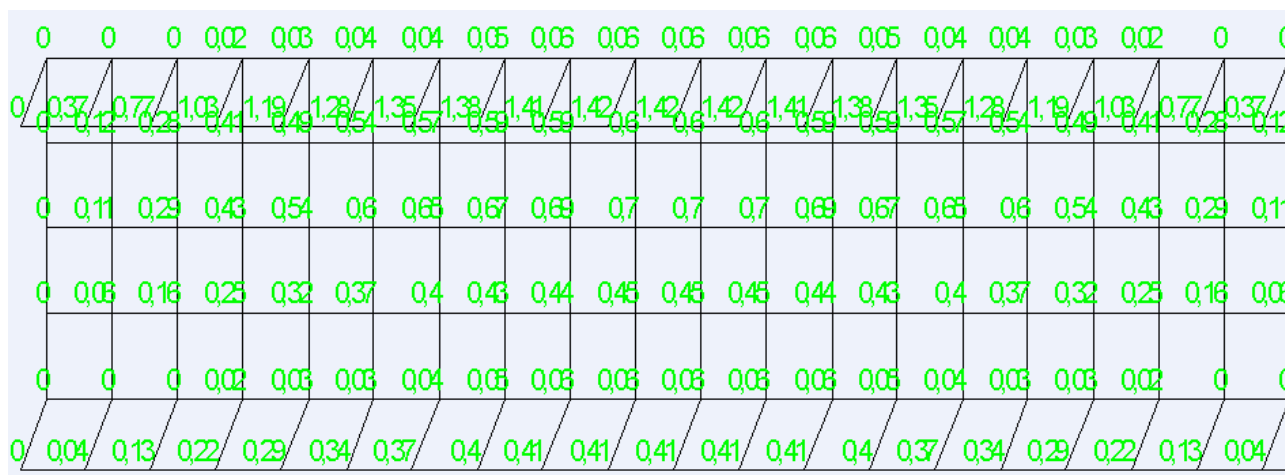


Рисунок 3.10 Численные значения перемещений

Сравнивая перемещения на рис. 2.11 и 2.14 мы видим расхождения в значениях.

Оболочечная модель элемента отражает не только вертикальные перемещения, как первая модель, но и перемещения в остальных направлениях. Поэтому, для сравнения, отметим перемещения верхней грани швеллера. Из рисунка 2.14 оно равно 0,06 мм.

Разница с первой моделью составляет 0,024 мм. Это величины одного порядка.

Можно сделать вывод о том, что результаты, полученные в пункте 2.3.1.3. являются достоверными.

3.4. Расчет типовой конструкции

Расчет типовой конструкции можно проводить по указаниям «Рекомендаций...», а так же в программе SCAD. Подробно моделирование и расчеты конструкций из тонкостенных стержней был рассмотрены д.т.н., проф. В.И. Сливкером [12].

3.5. Результаты исследования модели-стерженья.

В начале исследования были поставлены следующие задачи:

- Разностороннее исследование геометрических характеристик профилей, оценка полученных результатов.
- Исследование работы профиля с перфорацией, оценка результатов исследования
- Расчет нагруженного стержня в программном комплексе SCAD и оценка полученных результатов.

Исследование показало, что перфорация стенки профиля не значительно влияет на прочностные и геометрические показатели стержня. Тем не менее, при проектировании и строительстве конструкций, зданий и сооружений необходимо придерживаться требований СНИП и «Рекомендаций по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства конструкций ООО «БалтПрофиль».

Для более ответственных участков конструкций необходимо применять методы расчета, дающие более полную картину распределения напряжений в элементах.

Применение новейших программных комплексов, таких как SCAD Office, REAL Steel, AllPlan значительно упростило проведение исследования. Что дает право говорить об увеличении скорости проектирования металлических конструкций в городских условиях строительства.

Заключение

Актуальность работы определяется необходимостью исследования термопрофиля, имеющего просечки в стенке профиля. В данной работе рассмотрена модель – стержень, позволяющая теоретически оценить влияние просечки на характеристики и работу стержня. Увеличение объема знаний по этой теме приведет к более качественному и быстрому темпу проектирования, что позволит обеспечить прочность и устойчивость зданий и сооружений что в свою очередь имеет большое значение для экономики страны.

Проведенный анализ показал, что для исследования влияния просечек нет теоретической базы и отсутствуют рекомендации по определению их влияния на характеристики стержня.

В имеющихся публикациях по данной тематике используется, как правило, экспериментальные данные без достаточного теоретического анализа их получения.

Проведен технический анализ работы профиля с просечками.

Основные научные и практические результаты, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Предложен способ моделирования продольных просечек в термопрофиле, обеспечивающих его высокие показатели сопротивления теплопередаче. Предложенный нами метод заключается в замене просечек эквивалентным локальным продольным утоньшением толщины металла. Это позволяет производить расчет эквивалентных геометрических характеристик сечения в программе ТОНУС и аналогичных ей программах.
2. Показано, что
 - момент сопротивления сечения изменяется значительно при ширине зоны утоньшения толщины металла больше, чем 66 мм (ширина области просечки в стержне),
 - результаты расчетов профиля имеющего просечки и аналогичного ему профиля без просечек в программе SCAD показывают, что, при приложении к стержню нагрузок, сопротивление стержня меняется незначительно.
 - т.о. продольные просечки в термопрофиле не оказывают существенного влияния на жесткостные характеристики термопрофиля и могут не учитываться в расчетах конструкций из термопрофиля.
3. Показано, что расчет термопрофиля с приложенной нагрузкой при моделировании стержня четырех угольными оболочечными конечными элементами и пространственным стержнем с заданием жесткостных характеристик из программы ТОНУС дает значительные различия, как по деформациям так и по ее численным значениям. Поэтому для конструктивных расчетов рекомендован способ построения модели в программе SCAD или импорте конструктивной схемы из 3D программ, в частности программы REAL Steel, и заданием жесткостей стержня вручную, пользуясь таблицами, приведенными в «Рекомендациях...»
4. Полученные результаты внедрены в ООО «Балтпрофиль» для использования при расчете пространственных стержневых конструкций из термопрофиля.

Список использованных источников

1. В.Карпиловский, Э.Криксунов, А.Перельмутер, М.Перельмутер Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. К.: Изд-во КОМПАС, 2000..76 с.
2. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела: Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механики. Т. 2.. М.: Наука, 1978.. 616 с.
3. Власов В.З. Избранные труды, Т. 2.. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
4. Уманский А.А. Изгиб и кручение тонкостенных авиационных конструкций... М. Оборониздат: 1939.,112 с.
5. Уманский А.А. Расчет тонкостенных криволинейных балок // Труды научно-технической конференции ВВА им. Жуковского, вып. 2, 1944.
6. Джанелидзе Г.Ю., Пановко Я.Г. Статика упругих тонкостенных стержней. М.: ОГИЗ, 1948.. 208 с.
7. Бейлин Е.А. Вариант единой теории кручения тонкостенных стержней открытого, замкнутого и частично замкнутого профилей // Исследования по механике строительных конструкций и материалов. Межвузовский тематический сборник трудов / ЛИСИ, 1991.. С. 57.74.
8. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности. Учебник для студентов, обучающихся по направлению 653000 «Строительство». – М:Изд. АСВ, 2004. – 424с
9. Айрумян Э.Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО конструкций «БалтПрофиль», М., 2004 г.
10. Строительная компания ООО «Балтпрофиль». Режим доступа [<http://www.baltprofile.ru>].
11. Фундаментальность и политехничность на примере специальности ПГС . Режим доступа [http://www.stroikafedra.spb.ru/su0/fundamentalnost_i_politechnichnost.htm].
12. Сливкер В.И. Строительная механика . Изд. АСВ, 2005г. – 736с.
13. Свод правил по проектированию и строительству СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций» (одобрен письмом Госстроя РФ от 20 апреля 2004 г. N ЛБ-2596/9)
14. Свод правил по проектированию и строительству СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций» (одобрен постановлением Госстроя РФ от 17 мая 1999 г. N 37)
15. СТ СЭВ 3972-83 «Надежность строительных конструкций и оснований. Конструкции стальные. Основные положения о расчету.»
16. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) для общественного и жилищного строительства. Обзор материалов о новой технологии строительства.
17. Константинов И.А. Строительная механика. Применение программы SCAD для расчета стержневых систем. Учебное пособие. СПб, 2003г.
18. Современная Технология Альтернативного Легкосборного ДОМостроения. Режим доступа [<http://www.staldom.com>].
19. Технология ЛСТК. Режим доступа [<http://www.lstk.ru>].
20. Высокопрофессиональный САПР для трехмерного моделирования, расчета и анализа, детализации узлов металлоконструкций, оформления проектной документации: чертежей и спецификаций. Режим доступа [http://www.realsteel.lt/index.php?page_id=39]
21. Компания Nemetschek AG, Германия. Режим доступа [<http://www.nemetschek.ru/>]
22. Рэммет Ю.Р. Интегрированное проектирование в строительстве . Режим доступа [http://www.nemetschek.ru/news/sapr08_06.pdf]
23. Группа SCAD Soft. Режим доступа [<http://www.scadgroup.com/>]
24. ГОСТ 24045-94 «Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия»
25. СНиП II-23-81*«Стальные конструкции»
26. Шаломеенко М.А. « О потере устойчивости тонкостенного двутаврового бруса». Режим доступа [<http://old.ssau.ru/books/korolev-2001/vol1/1/>]