



МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ СХОДОВОГО МАРШУ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

В.П. Мущанов, Ю.В. Сивоконь

Кафедра "Теоретичної і прикладної механіки"

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, 86123, м. Макіївка, Донецька область, Україна.*

E-mail: y55lia@mail.ru

Отримана 8 липня 2005; прийнята 9 вересня 2005

Анотація. У статті наведено класифікацію сходових маршів індивідуальної конструкції та аналіз різноманітних типів подібних сходинок. Описано розробку методики розрахунку сходових маршів на больцах.

Ключові слова: сходовий марш індивідуальної конструкції, наближена методика розрахунку, напружено-деформований стан, метод кінцевих елементів. Методика расчета и проектирования лестничного марша индивидуальной конструкции.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСТНИЧНОГО МАРША ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.Ф. Мущанов, Ю.В. Сивоконь

Кафедра "Теоретическая и прикладная механика",

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, 86123, г. Макеевка, Донецкая область, Украина.*

E-mail: y55lia@mail.ru

Получена 8 июля 2005; принята 9 сентября 2005

Аннотация. В статье приведена классификация лестничных маршей индивидуальной конструкции и анализ различных типов подобных лестниц. Описана разработка методики расчета лестничных маршей на больцах.

Ключевые слова: лестничный марш индивидуальной конструкции, приближенная методика расчета, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

DESIGN PROCEDURE AND DESIGNING OF A LADDER MARCH OF AN INDIVIDUAL CONSTRUCTION

V. P. Mushchanov, Yu. V. Syvokon

Faculty " Theoretical and applied mechanics "

Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,

Derzhavin Street, 2, 86123, Makiyivka, Donetsk region, Ukraine.

E-mail: y55lia@mail.ru

Received 8 July 2005; accepted 9 September 2005

Abstract. In clause there is resulted the classification of ladder marches of an individual design and the analysis of various types of similar ladders. The development of a design procedure of ladder marches on bolts is described.

Key words: a ladder march of the individual design, the approached design procedure, the intense-deformed condition, a method of final elements.

Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими задачами

Рассматриваемая конструкция является нетиповой и, следовательно, в отечественной литературе нет примеров расчета подобных конструкций. Из-за особенностей конструктивной схемы рассматриваемого лестничного марша необходимо обеспечение жесткости и прочности конструкции.

Анализ типов лестниц

Любая лестница обязательно состоит из двух основных элементов — основания (косоуров, балок или обсадной трубы) и ступеней (открытых или с подступенком). Дополнительными элементами лестницы считаются площадки между маршами (или балюстрады), перила и декоративные элементы (балясины, скульптура и т. п.). Некоторые из типов лестниц показаны на рис. 1.

Всего существует пять основных типов лестниц:

- на косоурах;
- на больцах;
- на обсадной трубе (винтовые и спиралевидные);
- складные и выдвижные (более распространенное название — чердачные);
- комбинированные.

Лестницы на косоурах. Косоур — две наклонно поставленные по бокам лестницы балки, которые держат ступени. Косоуры бывают прямыми, округлыми или зубчатыми.

Если косоур прямой (то есть ступени лестницы заключены между двумя прямыми балками), лестничный марш получается прямым. При округлом косоуре (когда балки изогнуты) лестница имеет видимый изгиб. У зубчатого косоура верхняя сторона балок вырезана в виде зубцов, и в эти зубцы вставлены ступени (их называют накладными).

Лестницы на косоурах в 90% случаев делают из дерева. Такие лестницы очень красивы и архитектурно выразительны. Но у таких лестниц имеются и некоторые недостатки: во-первых, лестницы на косоурах очень тяжелые - за счет самой конструкции, массивных балясин, украшений. Во-вторых, чем больше лестница, тем сильнее она доминирует в пространстве. В-третьих, рано или поздно деревянные ступени начнут скрипеть.

Лестницы на больцах (о которых идет речь в статье). В отличие от лестниц с внешним косоуром, у лестниц на больцах система крепежа ступеней невидимая. Устроена она так: в стену вставляют резиновые прокладки и стальные больцы (болты), на которые крепятся проступи. Резиновые прокладки нужны для того, чтобы уменьшить вибрацию и скрип



Рисунок 1. (1 – деревянная лестница на прямом косоуре, 2 – лестница на косоуре с поворотом на 90°, 3 – деревянная лестница на округлом косоуре, 4 – лестница на больцах, 5 – винтовая лестница, 6 – винтовая спиралевидная лестница)

при ходьбе. Поручень связан со ступенями балясинами.

Лестницы на больцах удобные, прочные и легкие, экономят пространство в помещении. Это особенно актуально, если дом или квартира не очень большого размера. Кроме того, такие лестницы удобно ремонтировать: если одна из ступеней повреждена, ее можно без проблем снять, не затронув соседние. Поскольку у лестниц на больцах нет боковых балок, углов, ниш, где скапливается пыль, их легко убирать.

Конечно, лестницы на больцах не так роскошны, как лестницы на косоурах. Причем из-за кажущейся легкости лестницы на больцах ошибочно воспринимают как менее прочные и устойчивые, хотя на самом деле они абсолютно надежны и безопасны.

Винтовые лестницы и их разновидности спиралевидные. В средние века винтовые лестницы устраивали в башнях, то есть в узких высоких помещениях, где требовалась экономия пространства и сил при подъеме на большую высоту. Сейчас их делают где угодно, независимо от размеров помещения и стиля.

Комбинированные лестницы объединяют в себе все вышесказанное. Речь идет не только о комбинировании материалов, из которых изготовлена лестница, но и о комбинации способов крепления ступеней. Например, один междуэтажный пролет выполнен из дерева и закреплен на косоурах, а выше устроена винтовая лестница.

Факторы, учитываемые при проектировании лестниц:

- План помещения, где указано предполагаемое место размещения лестницы.
- Высота помещения: чтобы правильно определить количество ступеней, угол наклона лестницы и размер потолочного отверстия.
- Особенности конструкции и ее функциональное назначение: винтовая угловая лестница, прямая на косоурах, на больцах с разворотом, складная и т. д.
- Размер помещения и его стиль (классика, авангард, модерн или эклектика).
- Форма лестницы: она может быть прямой, с лестничной площадкой, а также с поворотами — на 1/4, на 1/2 или на 2/4. Углы поворотов варьируются.
- Минимально необходимое пространство.

В нормативной литературе [4] регламентируются максимальные значения вертикальных прогибов лестничных маршей различного типа. В Интернет-источниках [5] описаны различные конструкции лестничных маршей индивидуальной конструкции, приведены рекомендуемые значения углов подъема лестничной тетивы к горизонту, классификация подобного типа лестниц, рекомендуемые материалы для их изготовления.

Нерешенная часть проблемы и формирование целей исследования

Рассматриваемые конструкции лестниц не имеют аналогов в отечественной нормативной литературе, поэтому в ней нет методик расчета подобных конструкций, что значительно упростило бы и ускорило их проектирование.

Разработка приближенной методики расчета

Разработка приближенной методики расчета была основана на расчете лестничных конструкций методом конечных элементов, основанным на методе перемещений в ПК SCAD 7.31 [3]. Из расчетов были выбраны данные, необходимые для расчета узлов, креплений и элементов лестничных маршей, по которым затем были построены номограммы.

Используемые типы конечных элементов:

Проступи — прямоугольный или четырехугольный конечный элемент плиты (изгибаемый элемент плиты).

Материал элементов однороден по толщине. Допускаются все возможные случаи упругой симметрии.

Материал: дуб, ясень, бук.

Принято для расчетов:

Плотность $\gamma = 0.7 \text{ кН} / \text{м}^3$.

Коэффициент Пуассона $\mu = 0,13$.

Модуль упругости $E = 1 \cdot 10^6 \text{ кПа}$.

Толщина плиты $\delta = 40 \text{ мм}$.

Болъца — пространственный стержень

Материал — сталь.

Принято для расчетов:

Плотность $\gamma = 7850 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Диаметр болъцев $d = 10 \text{ мм}$.

Косоур — универсальные конечные элементы плоской задачи теории упругости — четырехугольные элементы с числом узлов от 4 до 8 произвольного положения в пространстве. Кроме вершин четырехугольника на каждой из сторон может находиться еще по одному узлу.

Материал: дуб, ясень, бук.

Принято для расчетов:

Плотность $\gamma = 0.7 \text{ кН} / \text{м}^3$.

Коэффициент Пуассона $\mu = 0,13$.

Модуль упругости $E = 1 \cdot 10^6 \text{ кПа}$.

Толщина плиты $\delta = 50 \text{ мм}$.

Перила — пространственный стержень

Материал: дуб, ясень, бук.

Принято для расчетов:

Плотность $\gamma = 0.7 \text{ кН} / \text{м}^3$.

Коэффициент Пуассона $\mu = 0,13$.

Модуль упругости $E = 1 \cdot 10^6 \text{ кПа}$.

Размеры 2 см x 10 см.

Ограждение — пространственный стержень

Материал — сталь.

Принято для расчетов:

Плотность $\gamma = 7850 \text{ кг} / \text{м}$.

Коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Диаметр ограждения $d = 10 \text{ мм}$.

Размеры проступей показаны на рис. 2, узлы

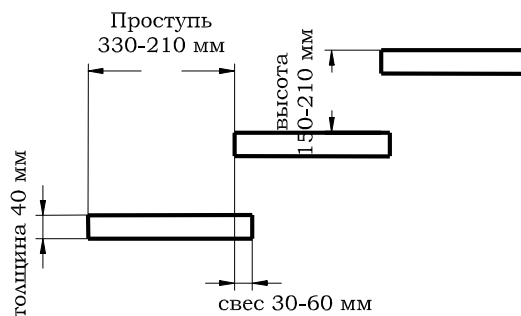


Рисунок 2. Размеры проступей

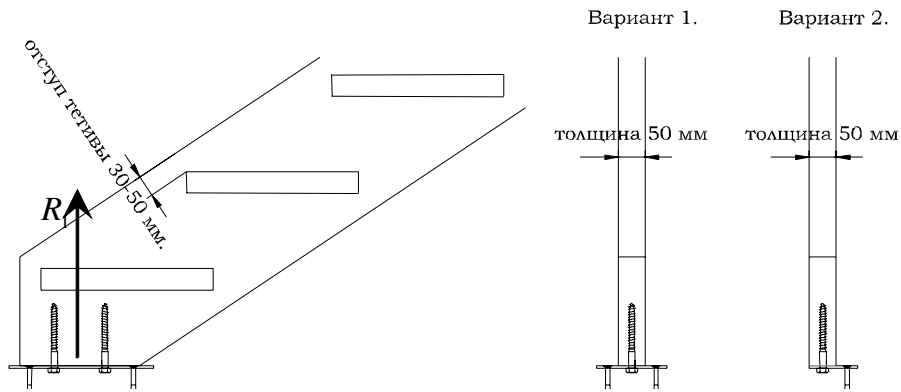


Рисунок 3. Крепление нижнего конца косоура к полу

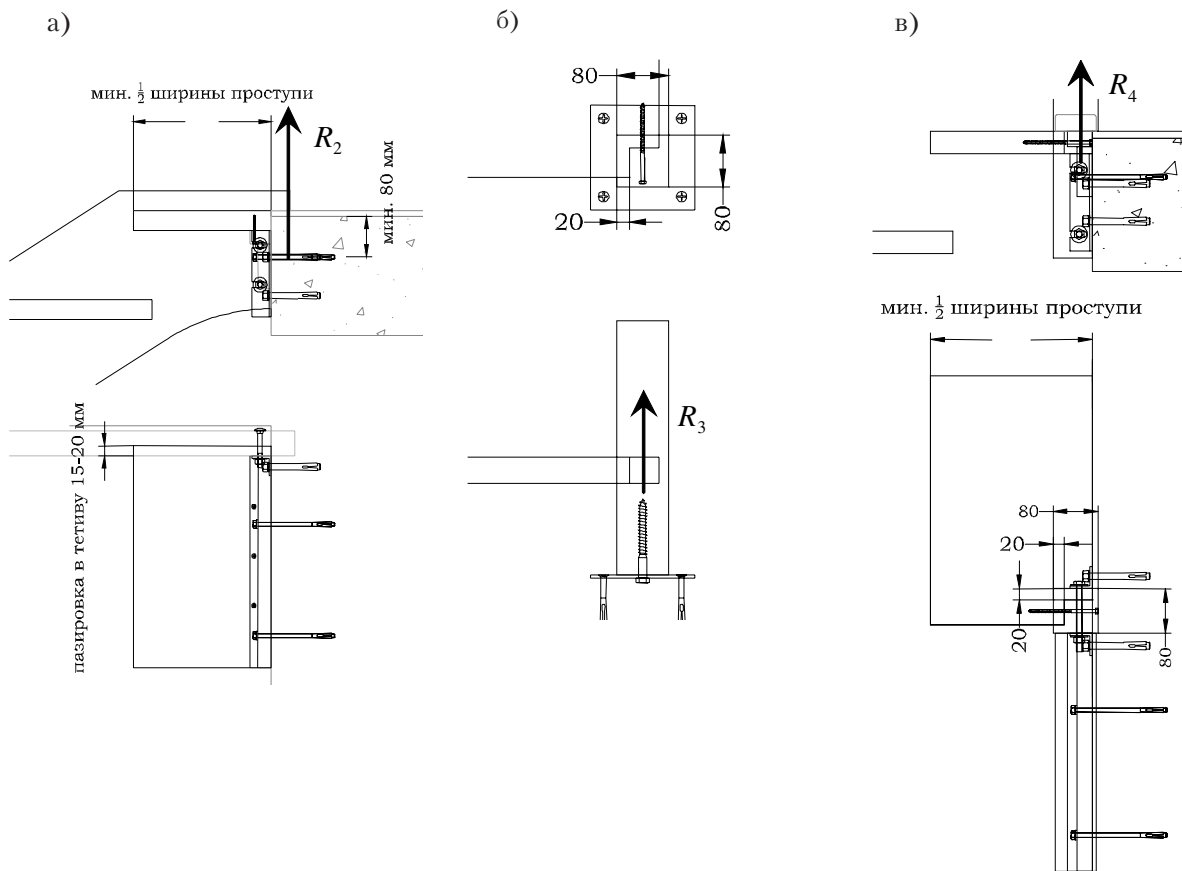


Рисунок 4. Узлы опорных креплений лестничного марша: а) Крепление верхнего конца косоура к полу верхнего этажа; б) Схема крепления крайнего столбца (со стороны больцев) к полу верхнего этажа; в) Схема крепления верхней ступени к полу верхнего этажа

креплений на рис. 3, 4.

Узловые сопряжения:

Узловые сопряжения принимаются в виде жестких рамных узлов.

Расчетные нагрузки:

Загружение 1: равномерно распределенная нагрузка на проступи $q \cdot \gamma_f = 3 \cdot 1.2 = 3.6 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} +$ собственный вес конструкции; (где $q = 3 \text{кН}$ таблица 3, п. 4 [4], $\gamma_f = 1.2$ таблица 1 [4]).

Загружение 2: сосредоточенная нагрузка на проступи $P \cdot \gamma_f = 1.5 \cdot 1.2 = 1.8 \text{кН}$ + собственный вес конструкции; (где $q = 1.5 \text{кН}$ п. 3.10 [4], $\gamma_f = 1.2$ п. 3.11 [4]).

Загружение 3: горизонтальная равномерно распределенная нагрузка на перила $q \cdot \gamma_f = 0.3 \cdot 1.2 = 0.36 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$; (где $q = 0.3 \text{кН}$ п. 3.11 [4], $\gamma_f = 1.2$ п. 3.11 [4]).

Пределы варьирования расчетных сечений
Для больцев и ограждения для всех расчетных схем диаметр 1 см, Для перил для косоура с углом наклона 24° размер сечения 6x15 см, для косоура с углом наклона 45° размер сечения 10x22 см. Толщина доски, из которой изготовлен косоур для всех расчетных схем толщина 50 мм, толщина проступей для всех расчетных схем 40 мм.

Пределы варьирования параметров:

Угол наклона лестничной тетивы к горизонтали $\alpha = 24^\circ - 45^\circ$.

Ширина проступи 210-330 мм.

Полезная ширина лестничного марша 800-1300 мм.

В результате расчетов были получены номограммы, по которым с помощью двойной линейной интерполяции можно определить искомые усилия и перемещения для расчетов лестниц, параметры которых не выходят за диапазон расчетных. Примеры таких номограмм можно посмотреть в приложении 1 на рис. П.1.1.-П.1.11.

Выводы

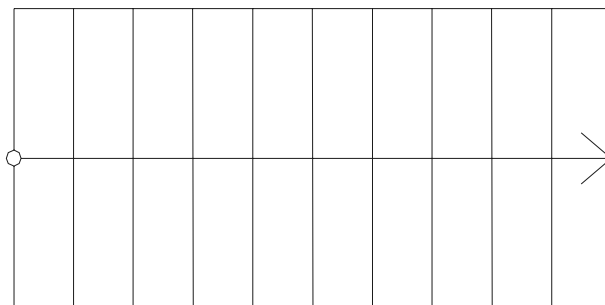
1. Разработанная методика позволяет осуществить проектирование конструкций для 11-ти схем лестничных конструкций на больцах с участием приведенных выше ограничений.
2. Поскольку разработанная методика расчета создана для нетиповых конструкций лестниц, не имеющих аналогов в отечественной нормативной литературе, то полученные результаты являются предварительными и в обязательном порядке требующими экспериментальной проверки на натуральных образцах конструкции.

Литература

1. СНиП II-23-81* "Стальные конструкции. Нормы проектирования". М.: 1991.
2. СНиП II-25-80 "Деревянные конструкции". М.: 1988.
3. Scad GROUP. Structure CAD. Общее описание. Киев: 1997
4. СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия". М.: 1987.
5. http://www.vashdom.ru/articles/m_lest.htm

Приложение №1. Расчетные схемы и номограммы для определения нормальных и касательных напряжений и опорных реакций в элементах лестничного марша на прямом косяре.

а)



б)

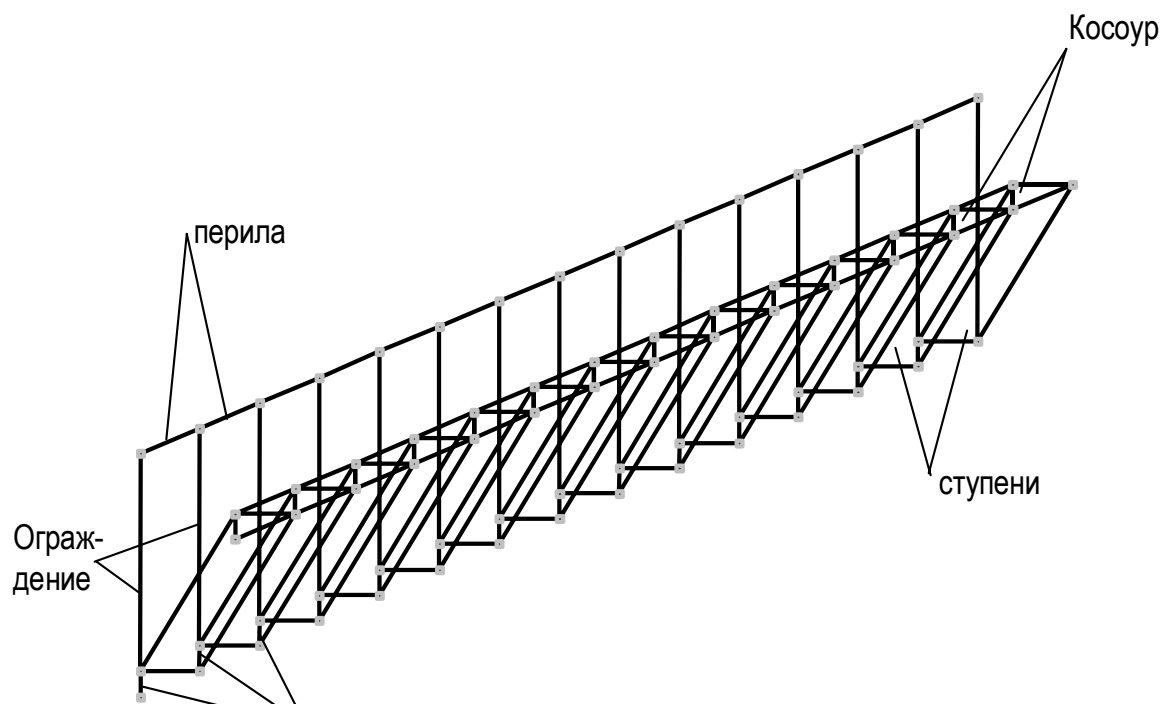


Рисунок П.1.1. Схемы лестничного марша на прямом косяре: а) схема лестничного марша, предоставленная заказчиком; б) расчетная схема лестничного марша

Приложение №1 (продолжение).

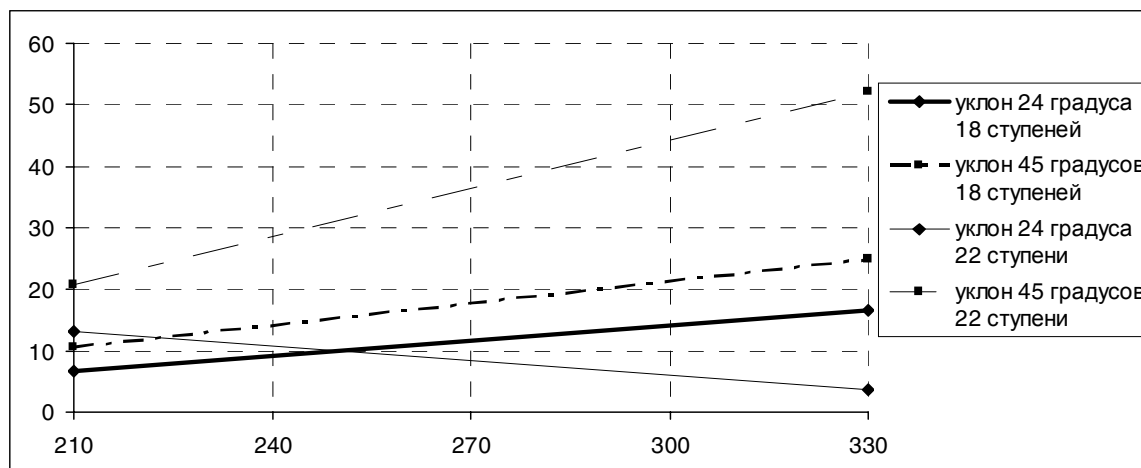
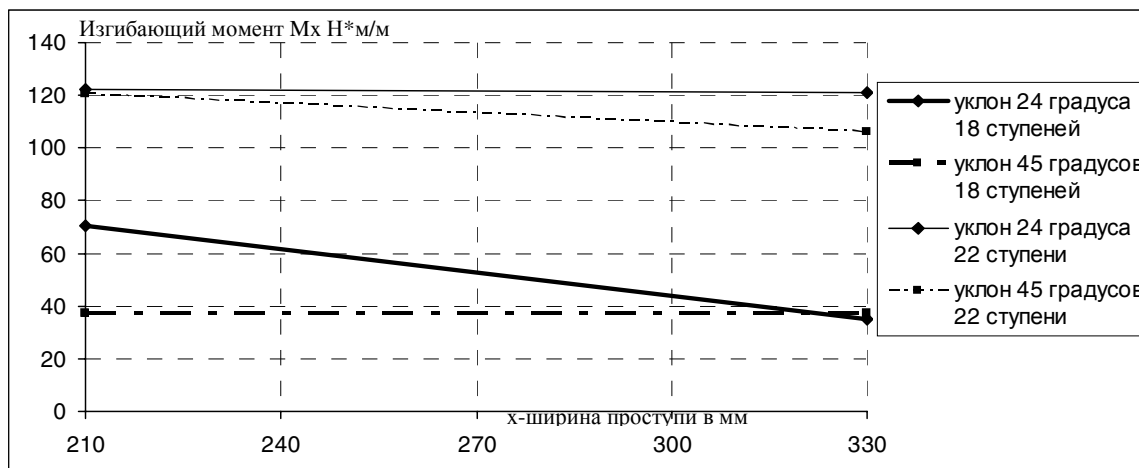


Рисунок П.1.2. Номограмма для определения максимальных вертикальных перемещений:

Уравнение для 18 ступеней:
 $Z_{\max}(x) = 0.0837 \cdot x - 10.978$ для 24° ;
 $Z_{\max}(x) = 0.1207 \cdot x - 14.8213$ для 45° .
 Уравнение для 22 ступеней:
 $Z_{\max}(x) = -0.0799 \cdot x + 30.005$ для 24° ;
 $Z_{\max}(x) = 0.2616 \cdot x - 34.2748$ для 45°

Рисунок П.1.3. Номограмма для определения максимальных изгибающих моментов M_x :

Уравнение для 18 ступеней:
 $M_X(x) = -0.297 \cdot x + 133.110475$ для 24° ;
 $M_X(x) = 0.0005 \cdot x + 36.872325$ для 45° .
 Уравнение для 22 ступеней:
 $M_X(x) = -0.0104 \cdot x + 124.3655$ для 24° ;
 $M_X(x) = -0.1213 \cdot x + 146.12275$ для 45°

Приложение №1 (продолжение).

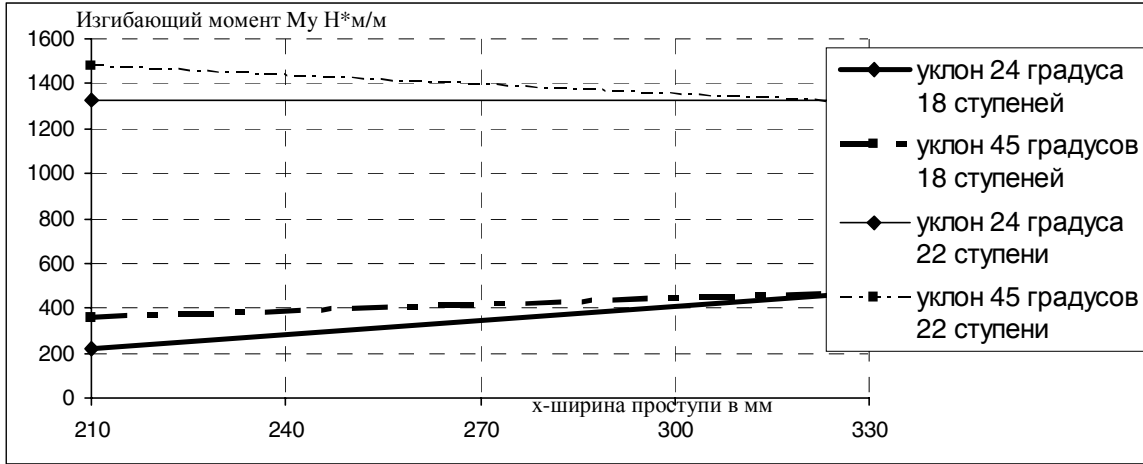


Рисунок II.1.4. Номограмма для определения максимальных изгибающих моментов M_u :

Уравнение для 18 ступеней:
 $M_u(x) = 2.0673 \cdot x - 214.34425$ для 24°;
 $M_u(x) = 0.9694 \cdot x + 150.70975$ для 45°.
 Уравнение для 22 ступеней:
 $M_u(x) = -0.0197 \cdot x + 1332.82$ для 24°;
 $M_u(x) = -1.4098 \cdot x + 1777.985$ для 45°

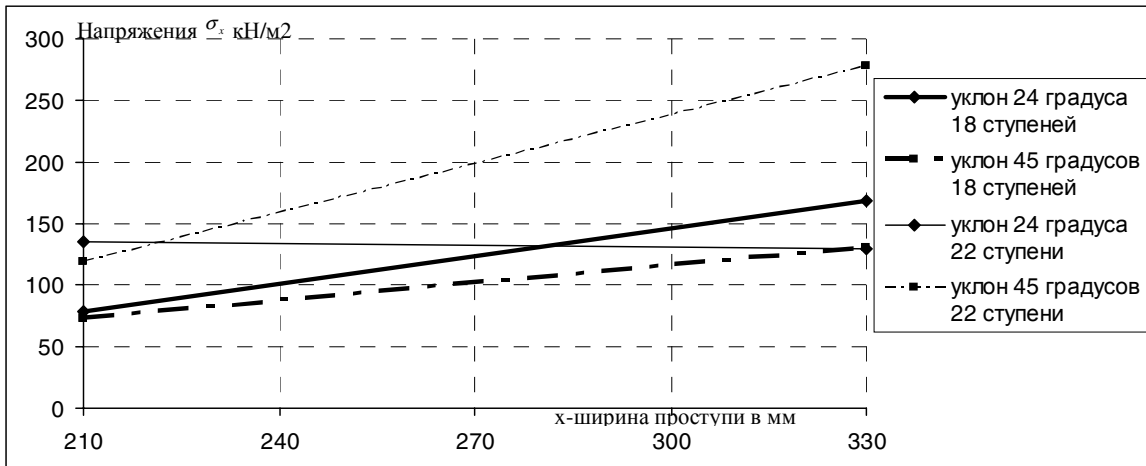
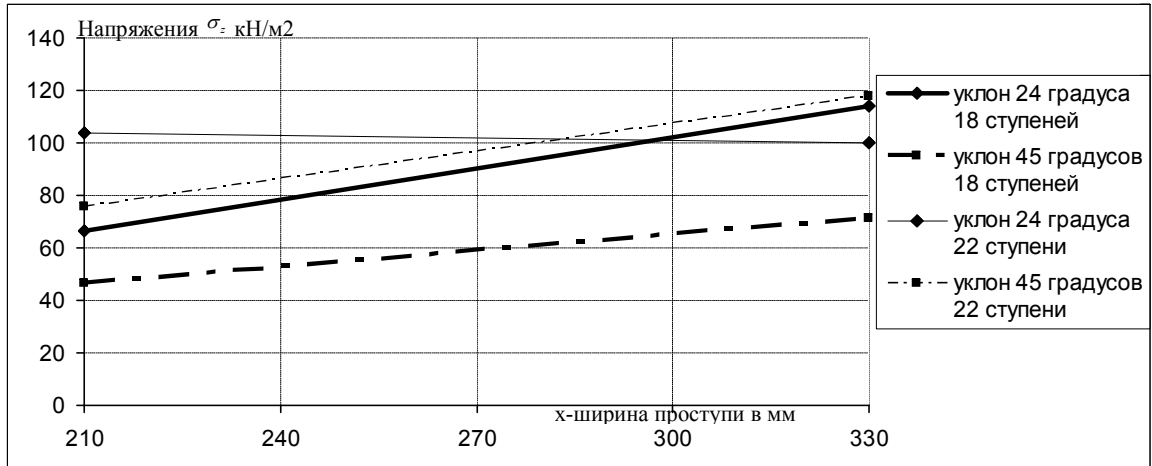


Рисунок II.1.5. Номограмма для напряжений σ_x :

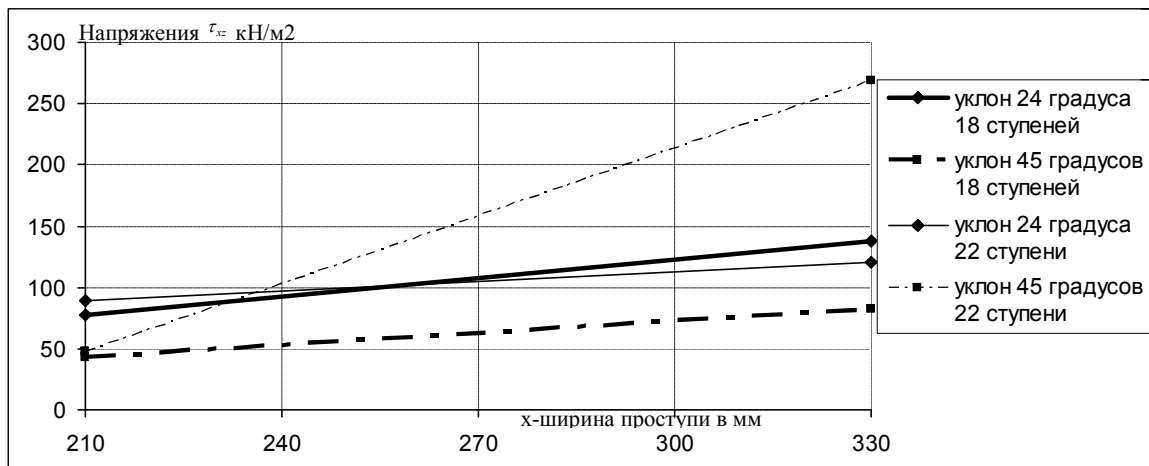
Уравнение для 18 ступеней:
 $N_x(x) = 0.7458 \cdot x - 77.884$ для 24°;
 $N_x(x) = 0.4796 \cdot x - 27.507$ для 45°.
 Уравнение для 22 ступеней:
 $N_x(x) = -0.0445 \cdot x + 143.8843$ для 24°;
 $N_x(x) = 1.3326 \cdot x - 161.4275$ для 45°

Приложение №1 (продолжение).

Рисунок П.1.6. Номограмма для напряжений σ_z :

Уравнение для 18 ступеней:
 $NY(x)=0.3939*x-16.0951$ для 24° ;
 $NY(x)=0.2084*x+2.7474$ для 45° .

Уравнение для 22 ступеней:
 $NY(x)=-0.0303*x+109.9005$ для 24° ;
 $NY(x)=0.3518*x+1.6431$ для 45°

Рисунок П.1.7. Номограмма для напряжений τ_{xz} :

Уравнение для 18 ступеней:
 $TXY(x)=0.4999*x-27.3552$ для 24° ;
 $TXY(x)=0.3328*x-27.2051$ для 45° .

Уравнение для 22 ступеней:
 $TXY(x)=0.2594*x+34.5681$ для 24° ;
 $TXY(x)=1.8436*x-340.0276$ для 45°

Приложение №1 (продолжение).

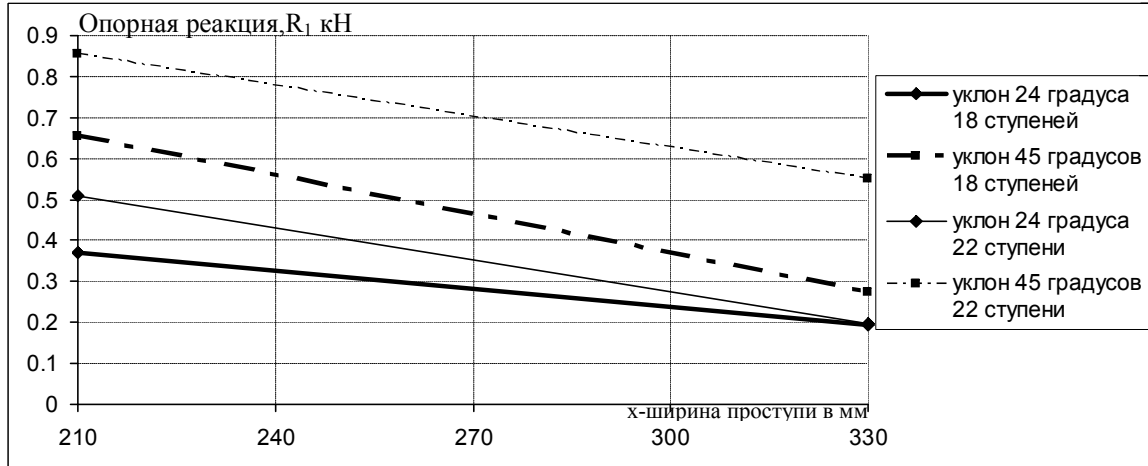


Рисунок П.1.8. Номограмма для опорной реакции R_1 ;

Уравнение для 18 ступеней:
 $R_1(x) = -0.0015 \cdot x + 0.6814$ для 24° ;
 $R_1(x) = -0.0032 \cdot x + 1.3208$ для 45° .
 Уравнение для 22 ступеней:
 $R_1(x) = -0.0026 \cdot x + 1.0511$ для 24° ;
 $R_1(x) = -0.0026 \cdot x + 1.3922$ для 45°

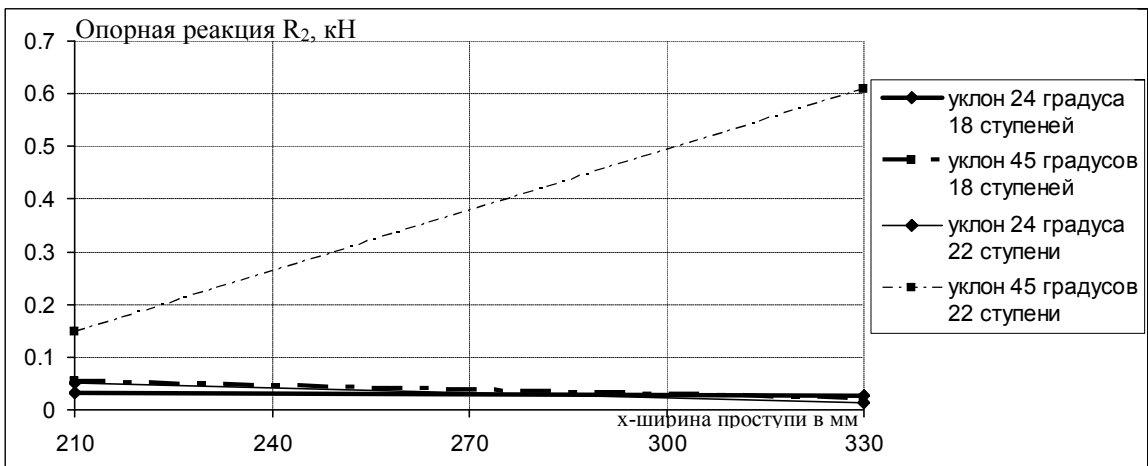
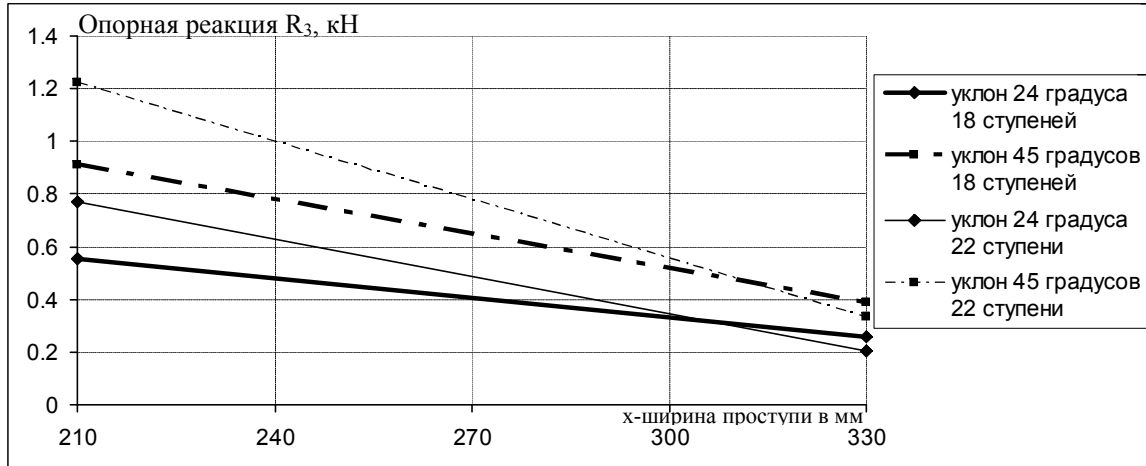


Рисунок П.1.9. Номограмма для опорной реакции R_2 ;

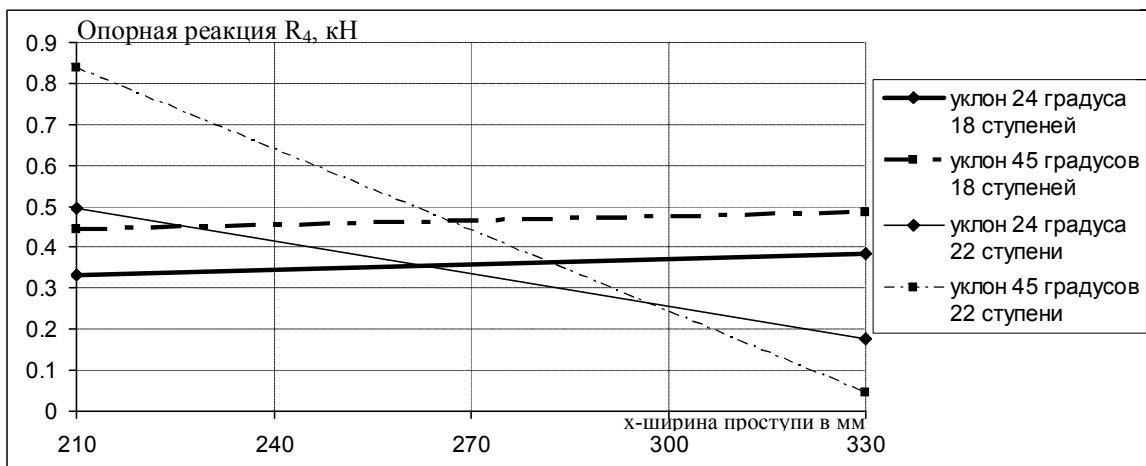
Уравнение для 18 ступеней:
 $R_2(x) = -0.0001 \cdot x + 0.0449$ для 24° ;
 $R_2(x) = -0.0003 \cdot x + 0.1112$ для 45° .
 Уравнение для 22 ступеней:
 $R_2(x) = -0.0003 \cdot x + 0.1154$ для 24° ;
 $R_2(x) = 0.0038 \cdot x - 0.6575$ для 45°

Приложение №1 (продолжение).

Рисунок П.1.10. Номограмма для опорной реакции R_3 :

Уравнение для 18 ступеней:
 $R_3(x) = -0.0024 \cdot x + 1.0635$ для 24° ;
 $R_3(x) = -0.0043 \cdot x + 1.8207$ для 45° .

Уравнение для 22 ступеней:
 $R_3(x) = -0.0047 \cdot x + 1.7586$ для 24° ;
 $R_3(x) = -0.0074 \cdot x + 2.7743$ для 45°

Рисунок П.1.11. Номограмма для опорной реакции R_4 :

Уравнение для 18 ступеней:
 $R_4(x) = 0.0004 \cdot x + 0.2406$ для 24° ;
 $R_4(x) = 0.0003 \cdot x + 0.3726$ для 45° .

Уравнение для 22 ступеней:
 $R_4(x) = -0.0026 \cdot x + 1.049$ для 24° ;
 $R_4(x) = -0.0066 \cdot x + 2.2258$ для 45°

Приложение №1 (продолжение).

Примечание. В номограммах для определения опорных реакций приняты следующие обозначения:

R_1 – опорная реакция для расчета крепежа 1;

R_2 – опорная реакция для расчета крепежа 2;

R_3 – опорная реакция для расчета крепежа 3;

R_4 – опорная реакция для расчета крепежа 4.

Схемы узлов, с указанием опорных реакций см рис. 3, 4.

Мущанов Володимир Пилипович працює завідувачем кафедри " Теоретична і прикладна механіка ", проректором з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації "З мостів і будівельних конструкціях" та міжнародної асоціації "Просторові конструкції", аудитор системи сертифікації УкрСЕПРО. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Сивоконь Юлія Володимирівна є асистентом та аспірантом кафедри " Теоретична і прикладна механіка " Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових мембранних конструкцій.

Мущанов Владимир Филиппович работает заведующим кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе. Член международной организации "По мостам и строительным конструкциям" и международной ассоциации "Пространственные конструкции", аудитор системы сертификации УкрСЕПРО. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Сивоконь Юлия Владимировна является аспирантом и ассистентом кафедры "Теоретическая и прикладная механика" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: расчет и проектирование пространственных мембранных конструкций.

Mushchanov Volodymyr Pylypovych is a Principal of Theoretical and Applied Mechanics department, pro-rector of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of International Association for Bridge and Structural Engineering, and a member of International Association of Spatial Structures, auditor of certification scheme UKRSEPRO. His research interests include the reliability theory, calculation, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Yulia V. Sivokon is a post-graduate student and works as an assistant of Theoretical and Applied mechanics department of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation and spatial membrane constructions design.