

УДК 631.234

4.3.1. Технологии ,машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ АРОЧНЫХ ТЕПЛИЦ

Блажнов Александр Александрович
канд. техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN- код: 2530-4598

Фетисова Мария Александровна
канд. техн. наук, доцент
РИНЦ SPIN- код: 8855-5509,

Алибекова Ирина Владимировна
канд. техн. наук
РИНЦ SPIN- код: 8553-0297

Глухова Лилия Рамильевна
старший преподаватель
РИНЦ SPIN- код: 6030-3335
Орловский государственный аграрный университет им.Н.В.Парахина, Орёл,Россия

Культивационные сооружения с поликарбонатным ограждением строятся в тепличных хозяйствах различной производительности. Наибольшее распространение получили одно – и многопролётные арочные сооружения. Из-за отсутствия типовой проектной документации разработка конструкций стального каркаса таких сооружений осуществляется их производителями. Арки теплиц предусматриваются из различных профилей, в основном корытного сечения, прямоугольных и квадратных труб. Применяемые профили характеризуются различными весовыми и размерными показателями. В связи с этим задача исследования предусматривала определение рационального вида арочного профиля и оптимальных параметров его сечения применительно к напряжённому состоянию арки. Поставленная задача решалась аналитически. В период эксплуатации теплицы нагруженный пояс арки находится в состоянии сжатия с изгибом. При действии продольной силы с изгибом напряжения в сечении арки существенно зависят от момента сопротивления W и с точки зрения экономии стали наиболее рациональным будет такое сечение, у которого при равной площади F с другими аналогичными сечениями момент сопротивления будет наибольшим. По результатам рассмотрения ряда стальных профилей установлено, что по расходу стали наиболее экономичны арки из прямоугольных труб. Выведены зависимости для назначения рациональных параметров сечения профилируемых труб

UDC 631.234

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

RATIONAL PARAMETERS OF STEEL ARCHED GREENHOUSE PROFILES

Blazhnov Alexander Alexandrovich
Cand.Tech.Sci., associate Professor
RSCI SPIN code: 2530-4598

Fetisova Maria Alexandrovna
Cand.Tech.Sci., associate Professor
RSCI SPIN code: 8855-5509,

Alibekova Irina Vladimirovna
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN code: 8553-0297

Glukhova Liliya Ramilievna
Senior Lecturer
RSCI SPIN code: 6030-3335
Orel State Agrarian University named after N.V.Parakhin, Orel, Russia

Cultivation structures with polycarbonate fencing are built in greenhouses of varying productivity. The most widespread are single-span and multi-span arched structures. Due to the lack of standard design documentation, the development of steel frame structures for such structures is carried out by their manufacturers. Greenhouse arches are made from various profiles, mainly trough section, rectangular and square pipes. The profiles used are characterized by different weight and size indicators. In this regard, the research task involved determining the rational type of the arched profile and the optimal parameters of its cross-section in relation to the stressed state of the arch. The problem was solved analytically. During the operation of the greenhouse, the loaded belt of the arch is in a state of compression with bending. Under the action of a longitudinal force with bending, the stresses in the arch section significantly depend on the moment of resistance W , and from the point of view of saving steel, the most rational will be the section that, with an equal area F with other similar sections, will have the greatest moment of resistance. Based on the results of examining a number of steel profiles, it was found that in terms of steel consumption, arches made of rectangular pipes are the most economical. Dependencies for assigning rational parameters for the section of profiled pipes are derived

Ключевые слова: АРОЧНАЯ ТЕПЛИЦА, СТАЛЬНАЯ АРКА, СТАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ, РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ, СЕЧЕНИЕ ПРОФИЛЯ

Keywords: ARCHED GREENHOUSE, STEEL ARCH, STEEL PROFILES, RATIONAL PROFILE, PROFILE SECTION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-196-002>

Введение. Поликарбонатные арочные теплицы различной площади широко используются в малых формах хозяйствования и в промышленных целях для выращивания различных сельскохозяйственных культур. Так, для строительства при крупных предприятиях и в фермерских хозяйствах рекомендована номенклатура площадей овощных теплиц от 500 м² до 10 га [1]. Поставка и монтаж металлоконструкций одно - и многопролётных теплиц осуществляется рядом производств. Предлагаемая ширина однопролётных теплиц, на основе конструкций которых komponуются многопролётные сооружения, изменяется от 4 до 20м, длина может достигать 200 и более метров [2-5].

Затраты на теплицы можно несколько снизить выбором рациональной конструктивной формы сооружения (при этом сокращаются расходы на ограждающие конструкции и отопление [6-7]) и использованием экономичных профилей, геометрические характеристики которых наиболее соответствуют их напряжённно-деформированному состоянию при эксплуатации сооружения.

В арках отечественных теплиц с поликарбонатной кровлей обычно используются следующие стальные профили [8-9]: так называемые корытные профили (или омега - профили), изготавливаемые по ГОСТ 8283-93 или стандартам предприятия (рис.1а); трубы прямоугольного или квадратного сечения (рис.1б); круглые трубы. Указанные профили также используются в строительных решениях гражданских и производственных объектов.

<http://ej.kubagro.ru/2024/02/pdf/02.pdf>

В период эксплуатации теплицы нагруженный пояс арки находится в состоянии сжатия с изгибом, характеризуемого формулой

$$\sigma = \frac{M}{W} \mp \frac{N}{F} \quad , \quad (1)$$

где M – изгибающий момент; W – момент сопротивления сечения; N – продольная сила; F – площадь сечения профиля.

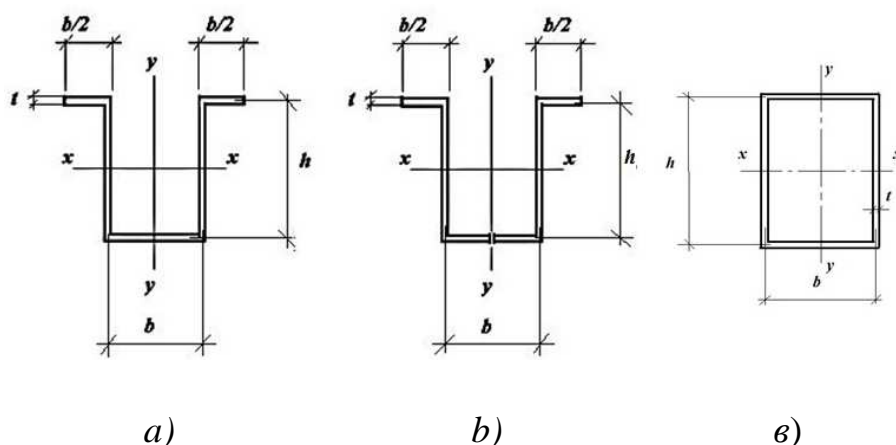


Рисунок 1 – Профили для арок поликарбонатных теплиц:
a - корытный , *б* - оптимизируемые Z – образные профили,
в - прямоугольная или квадратная труба

Как следует из (1), напряжения в сечении арки существенно зависят от момента сопротивления W и с точки зрения экономии стали наиболее рациональным будет такое сечение, у которого при равной площади F с другими аналогичными сечениями момент сопротивления будет наибольшим.

Задача исследования исходя из этого вывода была сформулирована следующим образом: рассмотреть используемые в арках виды профилей, для определённой площади сечения профиля F обосновать соответствующие максимальному значению момента сопротивления

сечения W его параметры (ширину, высоту) и провести сравнение профилей по эффективности.

Методика исследования предусматривала аналитическое решение задачи.

Результаты исследования. Корытные профили изготавливают способом профилирования. Одним из стандартных профилей массового производства является корытный профиль 50x50x25 со следующими параметрами: высота (h) - 50мм, ширина (b) – 50 мм, ширина полок ($b/2$) – по 25 мм, толщина (t) изменяется от 0,7 до 2,0 мм [8]. На примере приведенного профиля рассмотрим возможность определения его размеров, соответствующих максимальному моменту сопротивления сечения W_x . Для обоснования рациональных параметров профиля необходимо учесть ширину стальной полосы (l), из которой будет изготавливаться профиль на рис.1а.

Корытное сечение (рис.1а) является симметричным относительно оси $y - y$ и его можно рассматривать как состоящее из двух Z – образных профилей (рис.1б). Тогда момент сопротивления корытного сечения будет равен

$$W_x = 2 \left(\frac{2I_x}{h} \right) = 4 \frac{I_x}{h} \quad , \quad (2)$$

где I_x – момент инерции одного Z – образного профиля.

$$I_x \approx \frac{th^3}{12} + \frac{2bt}{2} \left(\frac{h}{2} \right)^2 \approx \frac{th^3}{12} + bt \left(\frac{h}{2} \right)^2 \quad (3)$$

В формуле (3) не учтены моменты инерции относительно собственных осей горизонтальных элементов сечения ввиду их малости.

Сумма двух полок и высоты Z – образного профиля (рис.1б) равна половине ширины (l) исходной стальной полосы

$$\frac{b}{2} + \frac{b}{2} + h \approx \frac{l}{2} \quad , \quad \text{откуда } b \approx \frac{l}{2} - h \quad (4)$$

Подставим полученное выражение для b в формулу (3) и после преобразований получим

$$I_x \approx \frac{th^2}{4} \left(\frac{l}{2} - \frac{2h}{3} \right) \quad (5)$$

Тогда момент сопротивления корытного профиля (2) будет равен

$$W_x \approx 4 \frac{I_x}{h} \approx \frac{thl}{2} - \frac{2th^2}{3} \quad (6)$$

Найдём первую производную от W_x по h и приравняв её нулю, получим

$$\frac{dW_x}{dh} = \frac{tl}{2} - \frac{4th}{3} = 0, \quad h \approx \frac{3l}{8} \quad (7)$$

Вторая производная меньше нуля: $\frac{d^2W_x}{dh^2} = -\frac{4t}{3} < 0$

Следовательно, высота h по выражению (7) соответствует максимальному моменту сопротивления гнутого корытного профиля. Ширина этого профиля $b \approx \frac{l}{2} - h \approx \frac{l}{8}$ (8)

Сравним момент сопротивления вышерассмотренного корытного профиля 50x50x25x2мм ($W_x = 5,3\text{см}^3$, ширина исходной полосы для профилирования 19,6см) с вычисленным значением для профиля 76x27x14x2мм ($W_x = 5,7\text{см}^3$), параметры которого определены на основании выведенных зависимостей (7) и (8) для такой же ширины профилируемой полосы. Из соотношения $5,7/5,3 = 1,075$ следует, что выведенные зависимости для ширины и высоты корытного профиля позволяют примерно на 7% увеличить момент сопротивления сечения и несколько снизить расход стали на изгибаемые и внецентренно сжатые элементы из этих профилей.

Обобщая вышеизложенное, отметим, что для обеспечения максимального момента сопротивления сечения гнутого корытного

профиля его высота должна равняться $3/8$ ширины исходной полосы для профилирования, а ширина (без отгибов) – $1/8$ ширины полосы.

В поясах арок теплиц в зависимости от нагрузки применяются прямоугольные и квадратные трубы с размерами стенок от 20 до 90мм и толщиной 1-2 мм [2-5,9]. Трубы представляют собой гнutoзамкнутые сварные профили или изготовленные посредством деформирования круглых труб. Момент сопротивления W_x такого профиля (рис.1б) можно представить в виде следующей зависимости

$$W_x = \frac{2I_x}{h} \quad , \quad (9)$$

где I_x – осевой момент инерции профиля.

$$I_x \approx 2bt\left(\frac{h}{2}\right)^2 + \frac{th^3}{6} \approx \frac{th^2}{2} \left(b + \frac{h}{3}\right) \quad (10)$$

Периметр среднего слоя профиля равен

$$S = 2b + 2h, \quad \text{откуда} \quad b = \frac{S}{2} - h \quad (11)$$

Подставив выражение (11) в (10), получим

$$I_x \approx \frac{th^2}{2} \left(\frac{S}{2} - h + \frac{h}{3}\right) \approx \frac{th^2}{2} \left(\frac{S}{2} - \frac{2h}{3}\right) \quad (12)$$

Момент сопротивления профиля

$$W_x \approx \frac{2}{h} \cdot \frac{th^2}{2} \left(\frac{S}{2} - \frac{2h}{3}\right) \approx th \left(\frac{S}{2} - \frac{2h}{3}\right) \quad (13)$$

Продифференцируем W_x по h

$$\frac{dW_x}{dh} = \frac{tS}{2} - \frac{4th}{3}$$

Приравняв производную нулю, определим $h = \frac{3S}{8}$ (14)

$$\frac{d^2W_x}{dh^2} = -\frac{4t}{3} < 0 \quad ,$$

следовательно, установленная высота профиля h соответствует $W_{x \max}$.

Подставив (14) в (11), получим рациональное значение ширины прямоугольного профиля $b = \frac{S}{8}$ (15)

В качестве примера на основании выведенных зависимостей (14) и (15) определены рациональные параметры прямоугольной трубы с периметром среднего слоя $S = 192$ мм и толщиной стенки $t = 2$ мм: высота по наружным граням 74 мм, ширина 26 мм, $W_x = 6,7$ см³. Сравнение со стандартными профилями с такой же длиной среднего слоя показало, что у квадратной трубы 50x50x2 $W = 5,66$ см³ (-16%), прямоугольной трубы 60x40x2 $W_x = 6,14$ см³ (-9%), круглой трубы 63,5x2 $W = 5,94$ см³ (-11%).

Таким образом, максимальному моменту сопротивления относительно горизонтальной оси будет соответствовать сечение прямоугольной трубы высотой равной $3/8$ ширины исходной профилируемой полосы (или $3/8$ длины окружности среднего слоя круглой деформируемой трубы) и шириной равной $1/8$ указанных величин.

Вывод. В исследовании рассматривались стальные профили с равной шириной и толщиной исходного материала для профилирования. На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод: для поясов арок теплиц целесообразно использование прямоугольных труб с определением параметров их сечения по выведенным зависимостям. При равном расходе металла с корытными профилями, квадратными, прямоугольными и круглыми трубами момент сопротивления прямоугольных труб относительно горизонтальной оси превышает значения их моментов на 7-16%. Увеличение W_x позволяет несколько снизить расход стали при обеспечении устойчивости арок в вертикальной плоскости. Из плоскости конструкции устойчивость эксплуатируемых арок обеспечивается элементами покрытия (связями, прогонами, распорками).

Список литературы

1. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады РД-АПК1.10.09.01-14. М.: 2014, 103 с.

2. Фермерские теплицы из поликарбоната под ключ // URL: <https://volga-teplica.ru> > (дата обращения 22.09.23).

3. Фермерские теплицы из поликарбоната // URL: [https:// master-teplic/ru>fermerskie-teplitsy](https://master-teplic/ru>fermerskie-teplitsy) (дата обращения 22.09.23).

4. Производство садовых теплиц и тепличных комплексов // URL: <https://avadar.ru > teplizi> (дата обращения 19.12.2023).

5. Арочные теплицы // URL: <https://www.zavod-garant.by > Теплицы> (дата обращения 19.12.2023).

6. Блажнов А.А. Сравнительная оценка типов зимних теплиц для фермерских хозяйств // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. №3(711). с.71-78.

7. Блажнов А.А., Фетисова М.А. Производственные сооружения для фермерских хозяйств: монография. Орёл: ООО ПФ «Картуш», 2017. 132 с.

8. Геометрические характеристики омега – профилей. ПК «СТИЛПРОМ» // URL: [https:// pksteelprom/ru>omega-profil](https://pksteelprom/ru>omega-profil) (дата обращения 19.12.2023).

9. Металлический профиль для теплицы в 5 категориях. URL: [https:// market.yandex.ru > search > text=металл](https://market.yandex.ru > search > text=металл) (дата обращения 19.12.2023).

References

1. Metodicheskie rekomendacii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu teplic i teplichnyh kombinatov dlya vyrashchivaniya ovoshchej i rassady RD-APK1.10.09.01-14. M.: 2014, 103 s.

2. Fermerskie teplicy iz polikarbonata pod klyuch // URL: <https://volga-teplica.ru >> (data obrashcheniya 22.09.23).

3. Fermerskie teplicy iz polikarbonata // URL: <https:// master-teplic/ru>fermerskie-teplitsy> (data obrashcheniya 22.09.23).

4. Proizvodstvo sadovyh teplic i teplichnyh kompleksov // URL: <https://avadar.ru > teplizi> (data obrashcheniya 19.12.2023).

5. Arochnye teplicy // URL: <https://www.zavod-garant.by > Teplicy> (data obrashcheniya 19.12.2023).

6. Blazhnov A.A. Sravnitel'naya ocenka tipov zimnih teplic dlya fermerskih hozyajstv // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2018. №3(711). s.71-78.

7. Blazhnov A.A., Fetisova M.A. Proizvodstvennyye sooruzheniya dlya fermerskih hozyajstv: monografiya. Oryol: ООО ПФ «Kartush», 2017. 132 s.

8. Geometricheskie harakteristiki omega – profilej. PK «STILPROM» // URL: <https://pksteelprom/ru>omega-profil> (data obrashcheniya 19.12.2023).

9. Metallicheskiy profil' dlya teplicy v 5 kategoriyah. URL: [https:// market.yandex.ru > search > text=metall](https://market.yandex.ru > search > text=metall) (data obrashcheniya 19.12.2023).