

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ РЕШЕТКИ
В КОМБИНИРОВАННОЙ АРОЧНОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ КРУГЛЫХ В ПЛАНЕ ЗДАНИЙ****Сингаевский П.М.**, к.т.н., доцент,**Купченко Ю.В.**, к.т.н., доцент,**Гилодо А.Ю.**, к.т.н., доцент,*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

steelconpro@gmail.com

Аннотация. Разработана методика определения оптимальной геометрической формы решетки комбинированной арочной системы из условия работоспособности всех элементов гибкой решетки на растяжение и минимального расхода материала конструкции для круглых в плане зданий с центральной стойкой. Круглые в плане здания с центральной стойкой, жестко прикрепленной к фундаменту, могут быть использованы для автобусных парков, троллейбусных депо, рынков и т.п. Форма кровли отвечает требованию выпуклого очертания покрытия, что создает благоприятные условия уменьшению атмосферных воздействий. Наружная наклонная стойка, за счет горизонтальной составляющей опорной реакции арочной системы, может быть использована для создания необходимой величины предварительного напряжения, в том числе и саморегулируемого предварительного напряжения. На данном этапе исследования оптимальную форму решетки предполагается определить только за счет геометрической формы самой решетки, не прибегая к предварительному напряжению ее элементов.

Ключевые слова: комбинированная арочная система, решётка, гибкие элементы, наклонная стойка, пролет, нагрузка.

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ РЕШІТКИ
В КОМБІНОВАНІЙ АРКОВІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ КРУГЛИХ В ПЛАНІ БУДІВЕЛЬ****Сінгаївський П.М.**, к.т.н., доцент,**Купченко Ю.В.**, к.т.н., доцент,**Гілодо О.Ю.**, к.т.н., доцент,*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

steelconpro@gmail.com

Анотація. Розроблена методика визначення геометричної форми решітки комбінованої аркової системи за умови працездатності усіх елементів гнучкої решітки на розтяг і мінімальної витрати матеріалу конструкції для круглих у плані будівель з центральною стійкою. Круглі у плані будівлі з центральною стійкою, жорстко закріпленої до фундаменту, можуть бути використані для автобусних парків, троллейбусних депо, ринків і тощо. Форма покрівлі відповідає вимогам випуклому обрисові покриття, що створює сприятливі умови зменшення атмосферних впливів. Зовнішня нахилена стійка, за рахунок горизонтальної складової опорної реакції аркової системи, може бути використана для здійснення необхідної величини попереднього напруження, у тому числі і саморегульованого попереднього напруження. На даному етапі дослідження оптимальну форму решітки визначаємо тільки за рахунок геометричної форми самої решітки, не використовуючи попереднього напруження її елементів.

Ключові слова: комбінована аркова система, решітка, гнучкі елементи, нахилена стійка, проліт, навантаження.

DETERMINATION OF THE LATTICE OPTIMAL GEOMETRIC SHAPE IN THE COMBINED ARCH SYSTEM FOR CIRCULAR PLAN BUILDINGS**Singayevsky P. M.**, PhD., Associate Professor,**Kupchenko Y.V.**, PhD., Associate Professor,**Gilodo O.Y.**, PhD., Associate Professor,*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

steelconpro@gmail.com

Abstract. The methodology of determining the optimal geometric shape of the lattice in the combined arch system was developed under conditions of tensile capacity of all elements of the flexible lattice and the minimum material consumption of the structure for circular plan buildings with a central pillar. Circular plan buildings with a central pillar rigidly attached to the basement can be used for bus parks, trolleybus depots, markets, etc. The roof shape meets the requirement for a convex roof covering and creates favorable conditions by reducing atmospheric impacts. Due to the horizontal component of the support reaction of the arch system, the external inclined pillar can be used to create the necessary value of pre-stressing, including self-regulated pre-stressing, i.e. when the snow load rises the value of movement of the support part of the arch system and the inclination angle of the pillar increase which leads to the increase of tension in the lattice elements. In this case, the compressed upper belt of the arch system is unloaded. At this stage of the study, the optimal shape of the lattice is supposed to be determined only by the geometric shape of the lattice itself, without pre-stressing of its elements.

Keywords: combined arch system, lattice, flexible elements, inclined pillar, span, load.

Введение. Идея создания таких конструкций и основные принципы расчета принадлежат академику В.Г. Шухову, который в начале прошлого столетия запроектировал и осуществил такие конструкции относительно небольших пролетов, при перекрытии Московских торговых рядов (ГУМа). Используя идею В.Г. Шухова, ЦНИИПСК в 1958 году разработал конкурсный проект большепролетной комбинированной арочной системы с жестким верхним поясом и решеткой из гибких элементов (проект покрытия стадиона «Динамо» в г. Москве, пролетом 180 м, авторы Г.Д. Попов и С.С. Матвеев).

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1, 2] разработана методика расчета таких конструкций. В частности, обоснован выбор основной системы при расчете многократно статически неопределимых систем. Экспериментально подтверждены некоторые теоретические предположения о действительной работе. В работе [3] определена геометрическая форма гибкой решетки, при которой в ее элементах не возникают усилия сжатия даже без использования предварительного напряжения [4] для снеговой односторонней нагрузки в различном (имеющем инженерный смысл) соотношении ее с постоянной равномерно распределенной по всему пролету.

Целью работы есть определение геометрической формы гибкой решетки из условия работоспособности всех ее элементов на растяжение и минимального расхода материала несущей конструкции покрытия для круглых в плане (и близких к таковым) зданий (рис. 1).

Круглые в плане здания с центральной стойкой, жестко закрепленной к фундаменту, могут быть использованы для автобусных парков, троллейбусных депо, крытых рынков и т.п. Наружные наклонные стойки, за счет горизонтальной составляющей опорной реакции арочной системы, могут быть использованы для создания необходимой величины предварительного напряжения [4].

Значительные горизонтальные перемещения подвижной опоры, за счет деформативности, возможно использовать для создания саморегулируемого предварительного напряжения, т.е. с увеличением снеговой нагрузки величина перемещения опорной части арочной системы и угол наклона стойки увеличиваются, увеличивая величину натяжения элементов решетки.

Форма кровли (рис. 1) отвечает требованию выпуклого очертания, что создает благоприятные условия уменьшению атмосферных воздействий.

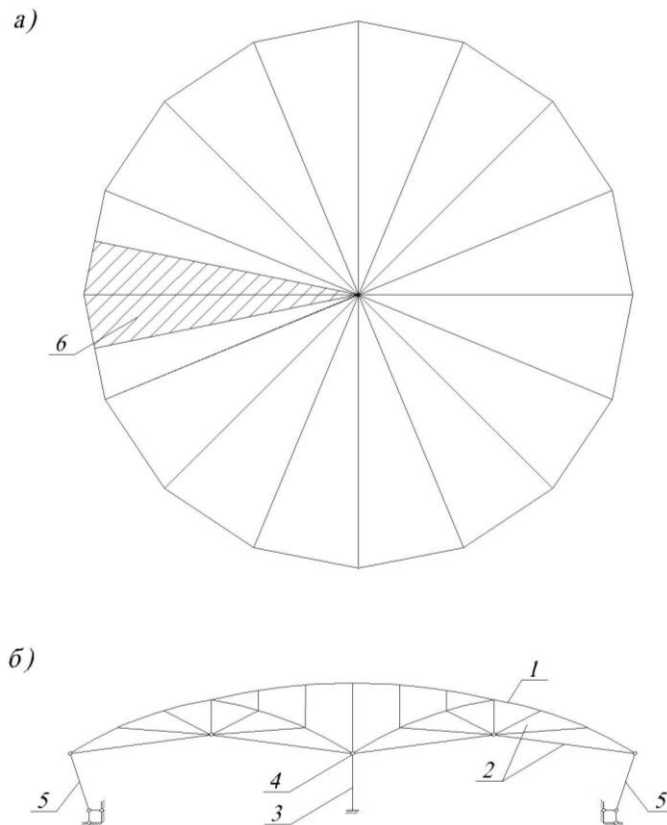


Рис. 1. Конструкция покрытия для круглых в плане зданий:
а – план покрытия; *б* – разрез

1 – жесткий верхний пояс; *2* – гибкая решетка; *3* – стойка, шарнирно прикрепленная к неподвижной опорной части *4* арочной системы и жестко прикрепленная к фундаменту; *5* – наклонная стойка, шарнирно прикрепленная как к подвижной части арочной системы, так и к фундаменту; *б* – грузовая площадь одной арочной системы

Результаты исследований. Принятые в данном исследовании условия оптимальности: первым необходимым условием оптимальности является работа всех элементов гибкой решетки только на растяжение, в настоящей работе это предполагается осуществить с помощью геометрической формы решетки, не используя предварительного напряжения ее элементов [4]; второе условие оптимальности – минимальный объем материала всей конструкции.

Принятые допущения:

1. Очертание оси, на которой «лежат» узлы верхнего пояса – квадратная парабола с соотношением подъема к пролету $f/L = 1/6$.
2. Участки верхнего пояса между узлами (панели) приняты спрямленными и одинаковыми по длине.
3. Постоянные нагрузки (собственный вес конструкции и покрытия) приняты распределенными по пролету, временные согласно [5].
4. Распределенные нагрузки приведены к сосредоточенным, приложенным в узлах верхнего пояса.
5. Внешне и внутренне конструкция статически определима, с полными шарнирами в узлах. Одна из опор шарнирно подвижная.

Для круглых в плане зданий с центральной стойкой характер нагрузок (постоянной и снеговой) на арочную систему соответствует треугольнику с вершиной на шарнирно подвижной опоре (рис. 2).

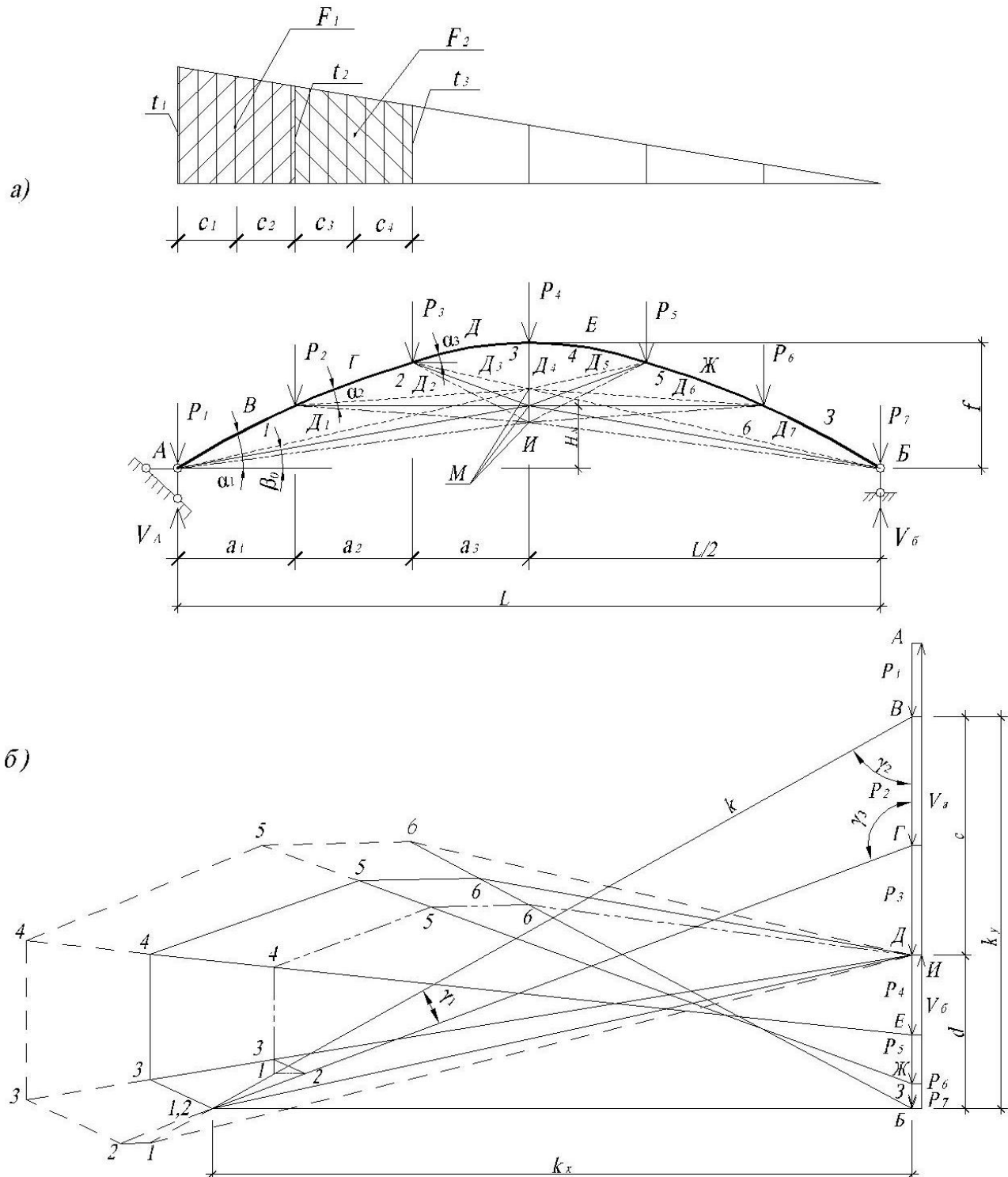


Рис. 2. Конструкция 6-ти панельной арочной системы:
 а – схема конструкции, нагрузки и три варианта схем гибкой решетки;
 б – диаграммы усилий

На рис. 2 показана конструкция 6-ти панельной арочной системы со схемой загрузки.

Назовем стержни решетки, соединяющие опорные узлы и точку схода «М» всех элементов решетки «корнями», все остальные – лучами решетки. Положение точки схода лучей М на схеме конструкции показано в 3-х вариантах. Соответственно каждому из положений точки схода лучей М построены диаграммы усилий с целью определения стержня решетки, который первым оказывается в условиях сжатия. Назовем этот стержень «контрольным». Как видно из диаграммы, в контрольном стержне возможно нулевое усилие

тогда, когда поля 1 и 2 совместятся, а угол наклона «корня» будет соответствовать направлению $I - 1, 2$. Такому положению соответствует схема решетки и диаграмма усилий, вычерченная на рис. 2 сплошными линиями. Назовем эти угол наклона «корня» и схему решетки оптимальными. Если угол наклона «корня» β_0 будет меньшим, чем оптимальный (положение $I - 1$), то в контрольном стержне будет усилие сжатия (схема решетки и диаграмма усилий на рис. 2 вычерчены штрих-пунктирной линией), что противоречит первому условию оптимальности.

Если угол наклона «корня» будет большим, чем оптимальный (схема решетки и диаграмма усилий вычерчены пунктирной линией), то в контрольном стержне будет усилие растяжения (первое условие оптимальности выполнено), но при этом все стержни решетки получат дополнительное растяжение, а панели верхнего пояса дополнительное сжатие. Это приведет к увеличению объема материала всей конструкции и тогда второе условие оптимальности не будет выполнено. Следовательно, оптимальной схеме решетки соответствует единственное положение «корня» и контрольного стержня, при котором в последнем будет нулевое усилие. Т.к. контрольным был один и тот же стержень по своему порядковому месту в схеме (это стержень D_2 , поля $I - 2$, рис. 2), то оптимальную схему решетки можно заранее назначить из условия равновесия узла верхнего пояса, к которому примыкает контрольный стержень, зная конфигурацию верхнего пояса и величины узловых нагрузок.

Исходными данными будут: L – пролет арочной системы; f/L – соотношение подъема к пролету; n – количество панелей верхнего пояса, принято 4...14; t_1 – максимальная погонная нагрузка; a – длина панели верхнего пояса; α_1, α_2 – углы наклона панелей (эти величины из геометрии конструкции арочной системы). Обозначение величин смотри на рис. 2.

Определим сосредоточенные силы в узлах.

Опорная реакция опоры A :

$$V_A = t_1 \cdot L / 3 . \quad (1)$$

Величины углов $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ из диаграммы усилий:

$$\gamma_1 = \alpha_1 - \alpha_2 , \quad (2)$$

$$\gamma_2 = 90^\circ - \alpha_1 , \quad (3)$$

$$\gamma_3 = 90^\circ + \alpha_1 . \quad (4)$$

Интенсивность нагрузки над узлами:

$$t_2 = t_1 - a_1 \cdot t_1 / L , \quad (5)$$

$$t_3 = t_1 - (a_1 + a_2) \cdot t_1 / L . \quad (6)$$

Равнодействующие распределенных нагрузок между узлами верхнего пояса:

$$F_1 = 0.5 \cdot (t_1 + t_2) \cdot a_1 , \quad (7)$$

$$F_2 = 0.5 \cdot (t_2 + t_3) \cdot a_2 . \quad (8)$$

Расстояния от равнодействующих до узлов:

$$c_1 = \frac{a_1 \cdot (t_1 + 2 \cdot t_2)}{3 \cdot (t_1 + t_2)} , \quad (9)$$

$$c_2 = \frac{a_1 \cdot (2 \cdot t_1 + t_2)}{3 \cdot (t_1 + t_2)} , \quad (10)$$

$$c_3 = \frac{a_2 \cdot (t_2 + 2 \cdot t_3)}{3 \cdot (t_2 + t_3)} , \quad (11)$$

$$c_4 = \frac{a_2 \cdot (2 \cdot t_2 + t_3)}{3 \cdot (t_2 + t_3)} , \quad (12)$$

Сосредоточенные силы в узлах:

$$P_1 = F_1 \cdot c_2 / a_1, \quad (13)$$

$$P_2 = F_1 \cdot c_1 / a_1 + F_2 \cdot c_4 / a_2. \quad (14)$$

Усилие k в первой панели верхнего пояса:

$$k = \frac{P_2 \cdot \sin \gamma_3}{\sin \gamma_1}. \quad (15)$$

Соответственно проекции этого усилия на оси x и y :

$$k_x = k \cdot \cos \alpha_1, \quad (16)$$

$$k_y = k \cdot \sin \alpha_1. \quad (17)$$

Тогда угол наклона «корня» β_0 , при котором выполняются оба условия оптимальности:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_0 &= \frac{d}{k_x} = \frac{k_y - c}{k_x} = \frac{P_2 \cdot \frac{\sin \gamma_3 \cdot \sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} - V_A + P_1}{P_2 \cdot \frac{\sin \gamma_3 \cdot \cos \alpha_1}{\sin \gamma_1}} = \\ &= \frac{\left(F_1 \cdot \frac{c_1}{a_1} + F_2 \cdot \frac{c_4}{a_2} \right) \cdot \frac{\sin \gamma_3}{\sin \gamma_1} \cdot \sin \alpha_1 - \frac{t_1 \cdot L}{3} + F_1 \cdot \frac{c_2}{a_1}}{\left(F_1 \cdot \frac{c_1}{a_1} + F_2 \cdot \frac{c_4}{a_2} \right) \cdot \frac{\sin \gamma_3}{\sin \gamma_1} \cdot \cos \alpha_1}. \end{aligned} \quad (18)$$

Или ордината H_M точки схода лучей M решетки:

$$H_M = 0.5 \cdot \operatorname{tg} \beta_0 \cdot L. \quad (19)$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований:

1. Разработанная методика позволяет назначать оптимальную схему гибкой решетки комбинированной арочной системы из условия работоспособности всех ее элементов на растяжение и минимального расхода материала конструкции для круглых в плане зданий с центральной стойкой в зависимости от пролета, количества панелей верхнего пояса и нагрузки.

2. Необходимо исследовать возможные схемы загрузки (имеющие инженерный смысл) таких конструкций с точки зрения работоспособности гибких элементов решетки и минимального расхода материала.

Литература

1. Сингаевский П.М. К вопросу о выборе основной системы в статически неопределенных комбинированных системах / П.М. Сингаевский // Изв. Вузов. Строительство и архитектура, 1978. – № 9. – С. 56-59.

2. Сингаевский П.М. Экспериментальные исследования модели комбинированной арочной системы / П.М. Сингаевский // Збірник докладів міжнародного симпозиуму «Современные строительные конструкции из металла и древесины». – Одесса: ОДАБА, 1997. – С. 213-218.

3. Сингаевский П.М. Определение оптимальной геометрической формы решетки в комбинированной арочной системе / П.М. Сингаевский // Вісник ОДАБА, Одеса: ОДАБА, 2017. – Вип. 66. – С. 54-58.

4. Сингаевский П.М. Комбинированная арочная система // Авторское свидетельство №694610 – М.: Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий, 1979. – 4 с.

5. Нагрузки и воздействия. ДБН В.1.2-2:2006. – К: Минстрой Украины, 2006. – 77 с.

Стаття надійшла 11.04.2018