

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПО РАСХОДУ СТАЛИ ДВУХ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ АНГАРА ДЛЯ ДВУХ САМОЛЕТОВ AIRBUS A380

Евченко С. В. - студент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, e-mail: evchenko1997@mail.ru

Аннотация: Самолётов с каждым годом становится всё больше и больше. Они нуждаются в ангарах ангарах, для охраны, ремонта и обслуживания. Несущей конструкцией 1 варианта является структурная оболочка арочного типа., получившая название система «БрГТУ», с размерами ячеек 3x3м. Свод выполнен из трубчатых круглых стержней разного диаметра, соединенных при помощи полых коннекторов на болтах. Расстояние в осях верхних и нижних поясов 2 м. Длина ангара составляет 162,25м., а ширина 92м. Отметка низа конструкции арки + 45,000. В качестве прогонов приняты балки пролетом 3 м из прокатного швеллера с параллельными гранями № 24П по ГОСТ 8240-97. Прогоны опираются на коннекторы и идут с шагом 3 м. А во 2 варианте в качестве несущей конструкции используется рама переменного сечения, сварная. При этом длина ангара составляет 168м., а ширина 92м. Отметка низа конструкции рамы + 30,500. В поперечном сечении рамы лежит сварной двутавр. Полки и стенки двутавра переменны. Сопряжение колонн ангара с ригелем принято жесткое. А к фундаменту рама крепится на болтах через опорную плиту, таким образом, место крепления рамы представляет собой шарнирный узел. По рамам устраиваются решетчатые прогоны ПР-16,5 по серии 1.462.3-17/85 с шагом 3,5 м, пролетом 12 м. В данной работе рассмотрены два различных конструктивных варианта выполнения ангара для выявления менее затратного варианта.

Ключевые слова: ангар для самолетов, конструктивные системы, расход стали, рамные конструкции, структурная оболочка арочного типа.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF STEEL CONSUMPTION OF TWO DIFFERENT DESIGN VARIANTS OF HANGAR FOR TWO AIRBUS A380 AIRCRAFT

Evchenko S. V. - student, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, e-mail: evchenko1997@mail.ru

Abstract: Airplanes every year becomes more and more. They need hangars hangars, for security, repair and maintenance. The supporting structure of option 1 is the structural shell of the arch type., called the system "BrGTU", with cell sizes 3x3m. the Arch is made of tubular round rods of different diameters, connected by means of hollow connectors on bolts. The distance in the axes of the upper and lower zones is 2 m. The length of the hangar is 162.25 m, and the width is 92 m. the Mark of the bottom of the arch structure is + 45,000. As girders accepted beams span of 3 m from the rolling channel with parallel faces № 24P according to GOST 8240-97. Runs are based on connectors and go with a step of 3 m. And in option 2 as a supporting structure used frame of variable cross-section, welded. The length of the hangar is 168m., and the width of 92m. Mark the bottom of the frame structure + 30,500. In the cross section of the frame is welded I-beam. The shelves and sidewalls of the I-beam are variable. Pair of columns of the hangar with bolt made hard. And the frame is bolted to the Foundation through the base plate, thus, the place of fastening of the frame is a hinge Assembly. The frames are arranged lattice girders PR-16.5 series 1.462.3-17/85 in increments of 3.5 m, span 12 m. In this paper we consider two different design options for the hangar to identify a less costly option.

Keywords: Aircraft hangars, Structural systems, Steel consumption, Frame construction, the structural shell of the arched type.

Введение: «На сегодняшний день большепролетные рамные конструкции переменного сечения относятся к категории металлоконструкционных материалов достаточно широко и активно применяемых в различных зданиях и сооружениях: ангарах для самолетов, зрелищных и спортивных сооружениях, технологических зданиях и др.»[1]

Цель: Произвести технико-экономический анализ двух различных конструктивных вариантов выполнения ангара для двух самолетов, по расходу стали, для выявления менее затратного варианта конструктивной схемы.

Первое конструктивное решение выполняется в виде структурной оболочки арочного типа, а второе - в виде рамы двутаврового сечения переменной жесткости.

1. Структурная схема ангара

В проекте разработана структурное покрытие ангара пролетом 92м. (рис.1) Несущей конструкцией является структурная конструкция, получившая название система «БрГТУ», с размерами ячеек 3х3м. Свод выполнен из трубчатых круглых стержней разного диаметра, соединенных при помощи полых коннекторов на болтах. Расстояние в осях верхних и нижних поясов 2 м. В пролете 92 м отметка низа конструкции арки + 45,000. К фундаменту структура крепится шарнирно на болтах через опорную плиту.

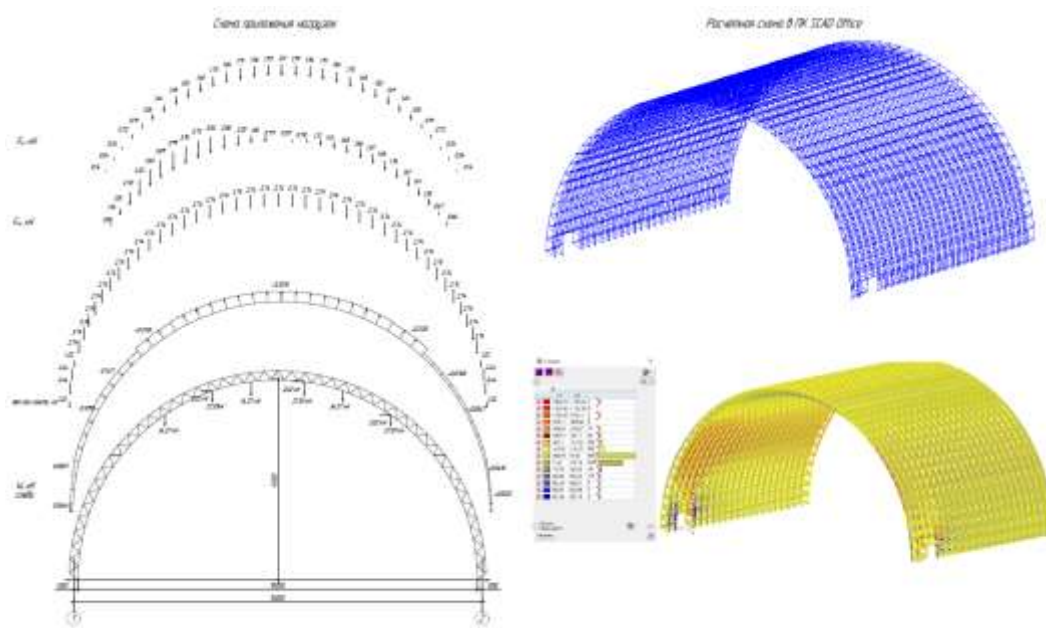


Рисунок 1. Структурная схема ангара и действующие на нее нагрузки

Узел структуры состоит из полого шара с отверстиями, в которые устанавливаются высокопрочные болты для соединения стержней. (рис.2)

Принятые конструктивные решения позволяют достаточно точно и однозначно выделить характер и направления силового потока в узле. Передача усилия со стержневого элемента на болт происходит через резьбовое соединение гайки стержня и болта. Контргайка служит только для стопорения стержневого элемента, а ее работой при передаче симметричного усилия пренебрегают. Передача усилия с болта на стенку узла зависит от знака усилия и происходит в следующей последовательности. Сжимающее усилие в стержне через резьбу передается на силовую гайку, далее на наружную шайбу и через нее на стенку шара. Усилие растяжения передается с головки болта на внутреннюю шайбу, а далее на стенку шара.[2]

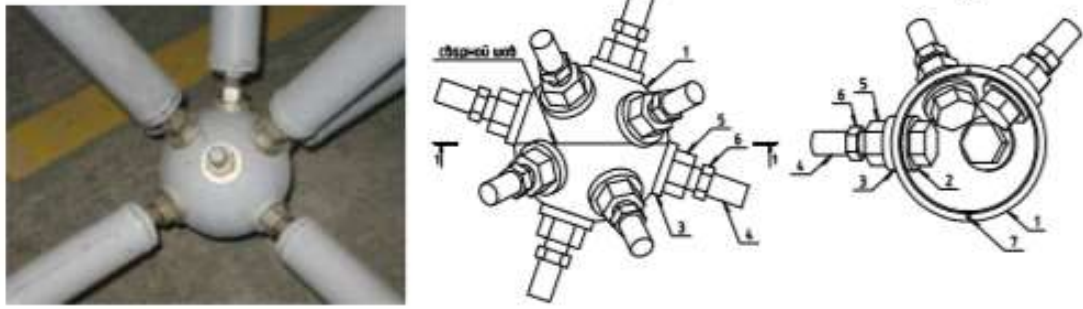


Рис. 2. Узловой элемент системы «БриТУ»: 1 - полусфера, 2 - внутренняя шайба с выпуклой поверхностью, 3 - наружная шайба с вогнутой поверхностью, 4 - болт, 5 - силовая гайка, 6 - контргайка, 7 - центрирующий штифт

Стержни конструкции проектируем из круглых труб по ГОСТ 10704-91. Материал стержней – сталь С345 с $R_y = 32 \text{ кН/см}^2$ (при t от 10 до 20 мм) согласно таблице В.5[3].

Стержни конструкции работают на центральное сжатие или растяжение. Проверка производится по прочности, устойчивости и гибкости. Растянутые стержни проверяют на прочность, сжатые – на устойчивость.

Проверка на устойчивость центрально-сжатых элементов:

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1 \quad (1)$$

где: N – усилие в элементе, кН;

$\gamma_c = 1$ - коэффициент условий работы, принимается согласно [3];

φ - коэффициент устойчивости при центральном сжатии.

A – площадь поперечного сечения стержня;

R_y - расчётное сопротивление стали;

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} \quad (2)$$

где: $\bar{\lambda}$ - условная гибкость стержня

$$\lambda = l_{ef} / i \quad (3)$$

где: λ - гибкость стержня

i – радиус инерции сечения элемента, см;

l_{ef} – расчетная длина элемента, см.

Гибкости элементов не должны превышать значений, указанных в таблицах 32 и 33 [3]. В данном случае для сжатых стержней имеем $\lambda_u = 180 - 60\alpha$.

$$\alpha = N / \varphi A R_y \gamma_c \quad (4)$$

где: α – коэффициент, принимаемый не менее 0,5

После расчета был проведён анализ и сравнение усилий N в каждом рассматриваемом элементе: верхний пояс, нижний пояс, раскосы. Затем, полученные значения разбили на группы для унификации и определения наиболее оптимальных размеров сечений труб.

Рассчитав вес каждого элемента конструкции, расход стали на структурную схему ангара составил: 780 т. (табл.1).

Таблица 1.

Ведомость отпращиваемых элементов для структурной схемы ангара

Наименование профиля ГОСТ, ТУ	Наименование или марка металла ГОСТ, ТУ	Номер или размеры профиля мм	№ пл.	Масса металла по элементам конструкции т				Общая масса т
				Стержни	Ригели	Фанеры	Прочее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Круглые трубы ГОСТ Р 5457-2010	С345	№244,5x7,0		22				
		№219,0x7,0		96				
		№193,7,0x7,0		62				
		№177,8x4,0		14				
		№168,0x3,8		10				
		№159,0x5,0		122				
		№152,0x4,5		44				
		№122,0x4,0		30				
		№89,0x4,0		26				
		№76,0x3,0		59				
Коннекторы	С345	№160					6	
		№212					56	
Швеллы с параллельно разнесёнными фланцами ГОСТ 8243-81	С345	2417			212			
Квадратная труба	С345	№160,0x8,0	16					
Прокат ГОСТ Р 52246-2004	С235 ГОСТ 5246-2003	Н57-750-0,7					200	
Всего								780

2. Рамная схема ангара

В проекте разработана рамный каркас ангара пролетом 92м. Высота до низа рамы 30,5м. (рис.3) Основу каркаса составляют шестнадцать поперечных рам пролётом 92 м. Сопряжение колонн ангара с фундаментами принято шарнирным, а колонн с ригелем - жесткое. По рамам с шагом 3,5м уложены прогоны ПР 16.5 по серии 1.462.3-17/85 по которым уложено кровельное покрытие состоящее из: проф.настила Н57-750-08, пароизоляции Унифлекс ЭПП, утеплителя РУФ БАТТС, профнастила Н57-750-08. Пространственная жесткость покрытия обеспечивается системой горизонтальных и вертикальных связей в уровне нижних и верхних поясов ригеля, создающими жесткий диск. Каркас ограждающих конструкций выполнен в виде горизонтальных ригелей, расположенных по периметру здания.



Рисунок 3. Рама переменного сечения

Статический расчет выполнен в программном комплексе «SCAD», основанном на методе конечного элемента, что вносит в него свои особенности. Расчету подлежит конструкция каркаса, состоящая из двутавровых рам переменной жесткости. SCAD не обладает возможность задания таких сечений. Для выполнения расчета, используется метод разбиения элемента на более мелкие части постоянной жесткости.

Определяются действующие виды нагрузок на здание согласно [4]: постоянные: собственный вес конструкции, нагрузка от веса покрытия; кратковременные: ветровая и снеговая нагрузки; крановые нагрузки: давление крана, торможение крана.

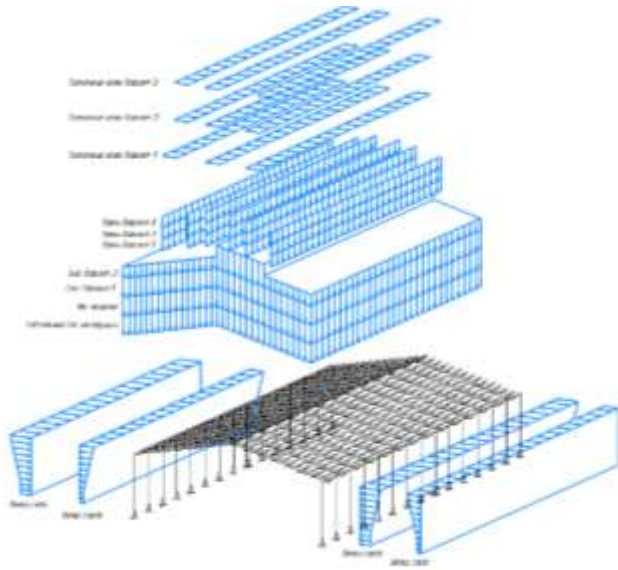


Рисунок 4. Действующие нагрузки на рамную конструкцию

Задаются вычисленные нагрузки(рис.4) на раму в программный комплекс «SCAD» и производится линейный расчет. Тем самым становятся известны действующие расчетные сочетания усилий в каждом конечном элементе конструкции .

Рамная конструкция разделена на отправочные марки. (рис.5) Сечения располагаются по границам и в середине каждой отправочной марки[5]. Первое сечение – на обрезе фундамента, последнее в коньке рамы.

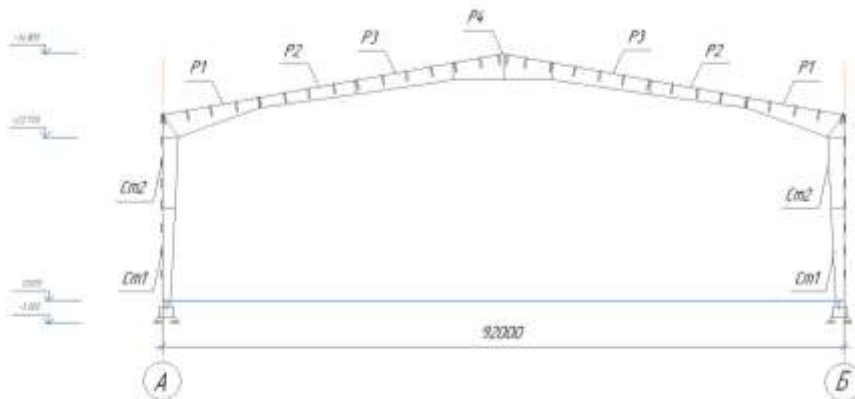


Рисунок 5. Отправочные марки рамной конструкции

Расчёт элементов выполняется согласно СП [3]. Сечения подбираются исходя из полученных усилий при центральном сжатии и при действии продольной силы с изгибом.

Расчёт на устойчивость элементов сплошного сечения при центральном сжатии силой N и удовлетворяющих требованиям 7.1 [3, с.10], следует выполнять по формуле (1) см.выше.

Расчёт на устойчивость стержней следует выполнять с учетом требований 7.3.2 При определении гибкости стержней радиус инерции сечения и расчетную длину следует принимать согласно требованиям 10.3.1 и 10.3.3[3, с.51].

Расчёт на прочность элементов сплошного сечения при действии продольной силы с изгибом. следует выполнять по формуле:

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c \quad (5)$$

где: M_x - абсолютные значения изгибающего момента при наиболее неблагоприятном сочетании, кНм;

W_x - момент сопротивления сечения относительно оси x .

Затем подобранные сечения задаются в «SCAD». Снова производится линейный расчет, и т.к. полученные новые усилия отличаются меньше чем на 30%, от предыдущих. То уточненный подбор сечений рамной конструкции, не производится. [6]

Рассчитав вес каждой отправочной марки, расход стали на рамную схему ангара составил: 967,952 т. (табл.3).

Таблица 3.

Ведомость отправочных элементов рамной схемы ангара

Отправочная марка	Кол. шт.	Масса, т		Примечание
		шт.	общ.	
Ст1	32	4,500	144	Без учета деталей крепления связей
Ст2	32	5,557	177,824	Без учета деталей крепления связей
P1	32	6,606	211,392	Без учета деталей крепления связей
P2	32	4,319	138,208	Без учета деталей крепления связей
P3	32	5,991	191,712	Без учета деталей крепления связей
P4	16	6,551	104,816	Без учета деталей крепления связей
Общая масса рамной конструкции, т			967,952	

Вывод: В ходе сравнения 2 рассмотренных варианта, наименьший расход стали имеет вариант выполнения структурной схемы ангара(780т), т.е. можно сказать, что рационально конструировать структурное покрытие ангара, чтобы сделать процесс изготовления экономически выгодным.

Список литературы

1. Катюшин В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство).-М.: ОАО «Издательство Стройиздат», 2005.-656 е.:ил.
2. Драган, В.И. Новая металлическая структурная конструкция системы «БрГТУ». Опыт проектирования, исследований и строительства в Республике Беларусь / В.И. Драган, Н.Н. Шалобыта, А.В. Мухин, А.Б. Шурин, И.В. Зинкевич // Промышленное и гражданское строительство в современных условиях : сб. науч. тр. Междунар. научн.-техн. конференции, Москва, 19–21 апреля 2011 г. / МГСУ. – Москва, 2011. – С. 34–37.
3. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*: свод правил: утв. Минрегион России 27.02.17: дата введ. 28.08.17.-М. :Минрегион Росиии, 2017.-147 с.
4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85***: свод правил: утв. Минрегион России 03.12.16: дата введ. 04.06.17. -М.: Минрегион Росиии, 2017. - 95 с.
5. СП 53-102-20 Общие правила проектирования стальных конструкций. -свод правил: утв. ЦНИИСК им.Кучеренко 10.09.2004: дата введ. 01.01.05. ЦНИИСК им.Кучеренко, -138с.
6. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.; под ред. Ю.И. Кудишина. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 688 с.