

УДК 624.014.2

Агафонкин В.С. – кандидат технических наук, профессор

E-mail: agafonkin@kgasu.ru

Дымолазов М.А. – старший преподаватель

E-mail: maikl-d@mail.ru

Исаева Л.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: isaeva.5353@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Анализ конструктивного решения стального каркаса здания терминала 1А «Международного аэропорта «Казань»

Аннотация

Выполнено исследование конструктивного решения каркаса здания. Проведен анализ распределения усилий в элементах каркаса в зависимости от компоновочной схемы. Выявлено, что принятое конструктивное решение приводит к стесненности температурных деформаций и существенному увеличению усилий в элементах каркаса от перепада температур. Установлена необходимость корректировки решений узловых соединений. Разработаны мероприятия по корректировке и оптимизации каркаса здания, а также предложен особый порядок монтажа с замыканием двух температурных отсеков, снижающий усилия в элементах.

Ключевые слова: конструктивное решение каркаса, компоновочная схема, температурные деформации, оптимизация каркаса, фланцевые и сварные узловые соединения.

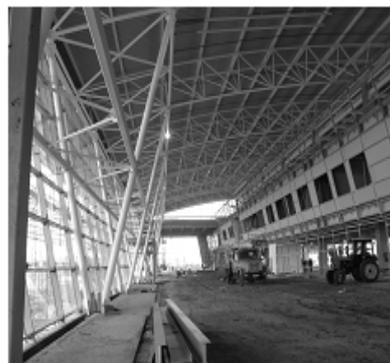
Современную Казань, развивающуюся как общественный, деловой и культурный центр, отличает интенсивное строительство новых большепролетных объектов. Одним из таких объектов является терминал 1А «Международного аэропорта «Казань». Техническая документация терминала 1А разработана генеральным проектировщиком «СавантЕлбул» (Болгария), при участии ЗАО «Казанский Гипрониавиапром», осуществляющего техническое сопровождение данного проекта.

Анализ эффективности предложенного конструктивного и компоновочного решения каркаса здания терминала, а также соответствие проекта действующим отечественным нормам выполнены авторами статьи.

Терминал состоит из основного объема с размерами 132x71,90 м, включающего в себя зоны отбывающих и прибывающих пассажиров по внутренним и международным линиям, и двух боковых рукавов. Емкость международного сектора терминала рассчитана на обслуживание 600 пассажиров (прибывающих и отбывающих) в час пик и 1200000 пассажиров в год.



а)



б)

Рис. 1. Вид строящегося здания терминала 1А: а – общий вид; б – фрагмент каркаса

По конструктивной схеме каркас здания терминала представляет собой поперечные рамы, связанные в продольном направлении связями в пространственную неизменяемую систему (рис. 2 а). В состав пространственного блока включены поперечные рамы, расположенные с шагом 12 м. Поперечные рамы образованы пространственными трехгранными фермами криволинейного очертания, консольно оперты по концам на V-образные колонны и в середине на колонну встройки (рис. 2 б). Опираемость ферм на колонны принято жестким, V-образные колонны жестко закреплены в фундаментах в плоскости рамы и шарнирно в продольном направлении. Встройка представляет собой пространственный рамный однопролетный двухэтажный каркас с жестким креплением ригелей к колоннам. Колонны встройки шарнирно закреплены в фундаментах. В продольном направлении в состав пространственного блока включены разрезные консольные прогоны, опирающиеся на верхний пояс пространственных ферм, горизонтальные и вертикальные связи по покрытию и V-образным колоннам каркаса, стеновые ригели. В первом варианте компоновки каркаса предусматривались крестообразные связи по V-образным колоннам, с расстоянием между ними 60 м. Узловые соединения трехгранных ферм выполнены сварными бесфасоночными. Примыкание ригелей к колоннам встройки выполнено с помощью фланцевых соединений на высокопрочных болтах, а балок настила к ригелям – шарнирным на сварке.

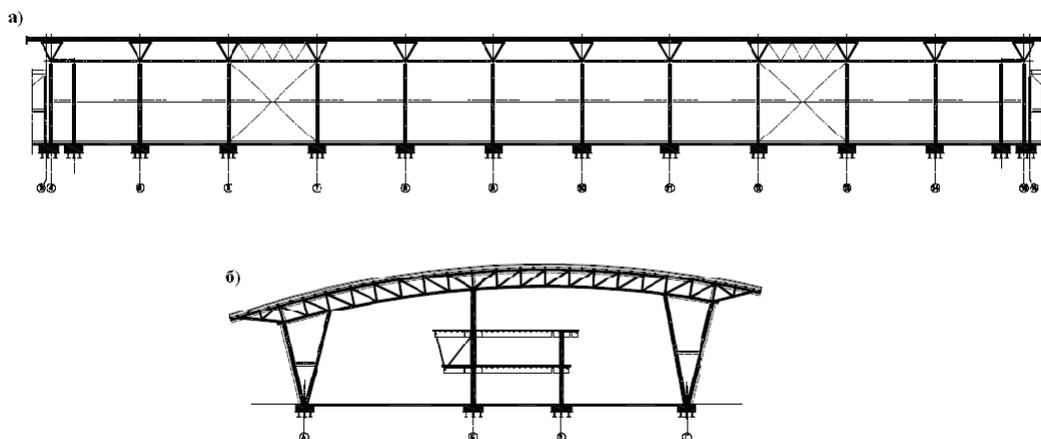


Рис. 2. Конструктивная схема здания: а – продольный разрез; б – поперечный разрез

Расчетная схема всего каркаса принята в виде пространственной модели (рис. 3). При статическом расчете учтены загрузки постоянной, временной полезной, технологической нагрузками, рассмотрено несколько вариантов приложения снеговых и ветровых нагрузок, а также температурных воздействий. Температурные воздействия приняты для двух загрузок «зима-лето» и «лето-зима» с замыканием каркаса как единого температурного отсека.

На основании анализа результатов статического расчета произведена оценка влияния компоновки конструктивной схемы на распределение усилий в элементах каркаса. Выявлено, что установка связей в двух местах каркаса с большим расстоянием между ними (60 м) приводит к стесненности температурных деформаций между этими связями и вызывает значительные усилия от перепада температур в элементах каркаса и нагрузки на фундаменты. Кроме того, конструктивная пространственная схема каркаса является нерегулярной, так как наружный каркас, состоящий из поперечных рам (ригелей из трехгранных ферм с V-образными колоннами), системой связей и прогонов соединен с каркасом встройки с обеспечением совместности деформаций не только в вертикальном, но и горизонтальном направлениях. Это приводит также к стесненности температурных деформаций и увеличению усилий в элементах.

Расчетами было установлено, что несущая способность ряда связей, а также балок, ригелей и колонн встройки не обеспечена. Прочность фланцевых соединений и сварных швов отдельных узлов не обеспечивалась, что потребовало корректировки конструктивных решений узлов.

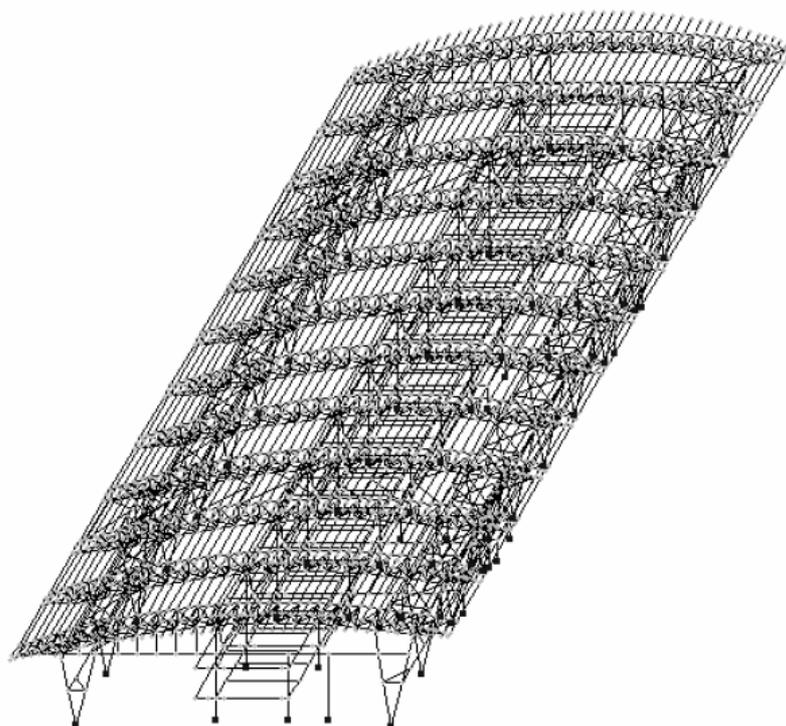


Рис. 3. Расчетная схема пространственного каркаса

Для снижения температурных усилий в элементах каркаса были разработаны мероприятия, предусматривающие особый порядок монтажа металлоконструкций с замыканием двух отдельных блоков в зимнее время и последующим их объединением в летнее время. Для этого предлагалось сначала смонтировать металлоконструкции каркаса и продольной встройки за исключением балок, распорок и горизонтальных связей в середине каркаса, а с наступлением температуры $18\div 20$ °С произвести монтаж всех оставшихся конструкций с обеспечением положительной температуры воздуха внутри здания. Таким образом, будет произведено «замыкание» двух температурных отсеков каркаса здания без годового цикла перепада температур лето-зима, что обеспечит значительное снижение температурных усилий.

Последующим расчетом установлено значительное снижение усилий в элементах стального каркаса и нагрузок на фундаменты от температурных воздействий. Распределение усилий в элементах для двух вариантов замыкания приведено на гистограммах рис. 4. На гистограммах первый вариант соответствует случаю возведения стального каркаса единым температурным блоком, а второй вариант – случаю замыкания двух отдельных температурных блоков в зимнее время с последующим их объединением в летнее время. Снижение усилий в среднем составляет $9\div 20$ %, а в связях – 70 %. Несущая способность элементов стального каркаса при особом порядке монтажа была обеспечена, однако в соответствии с действующими отечественными нормами для обеспечения прочности фланцевых узловых соединений элементов стального каркаса требовалось усиление.

Авторами статьи была проведена работа по оптимизации компоновочной схемы стального каркаса, в результате которой даны рекомендации по корректировке компоновочного и конструктивного решения стального каркаса здания терминала.

В дальнейшем при реализации проекта терминала проектировщиками была проведена корректировка конструктивного решения каркаса с учетом оптимизации. Изменена схема фермы путем подведения дополнительной колонны встройки в средней части пролета (рис. 5 б), что позволило уменьшить усилия в большинстве стержней фермы. Вертикальные крестовые связи были заменены на порталные и перенесены к середине температурного отсека (рис. 5 а), что так же уменьшило усилия от

температурного воздействия в элементах каркаса. В результате несущая способность узлов и элементов стального каркаса оптимизированного варианта конструктивного решения была обеспечена, при этом экономия металла составила 9 %.

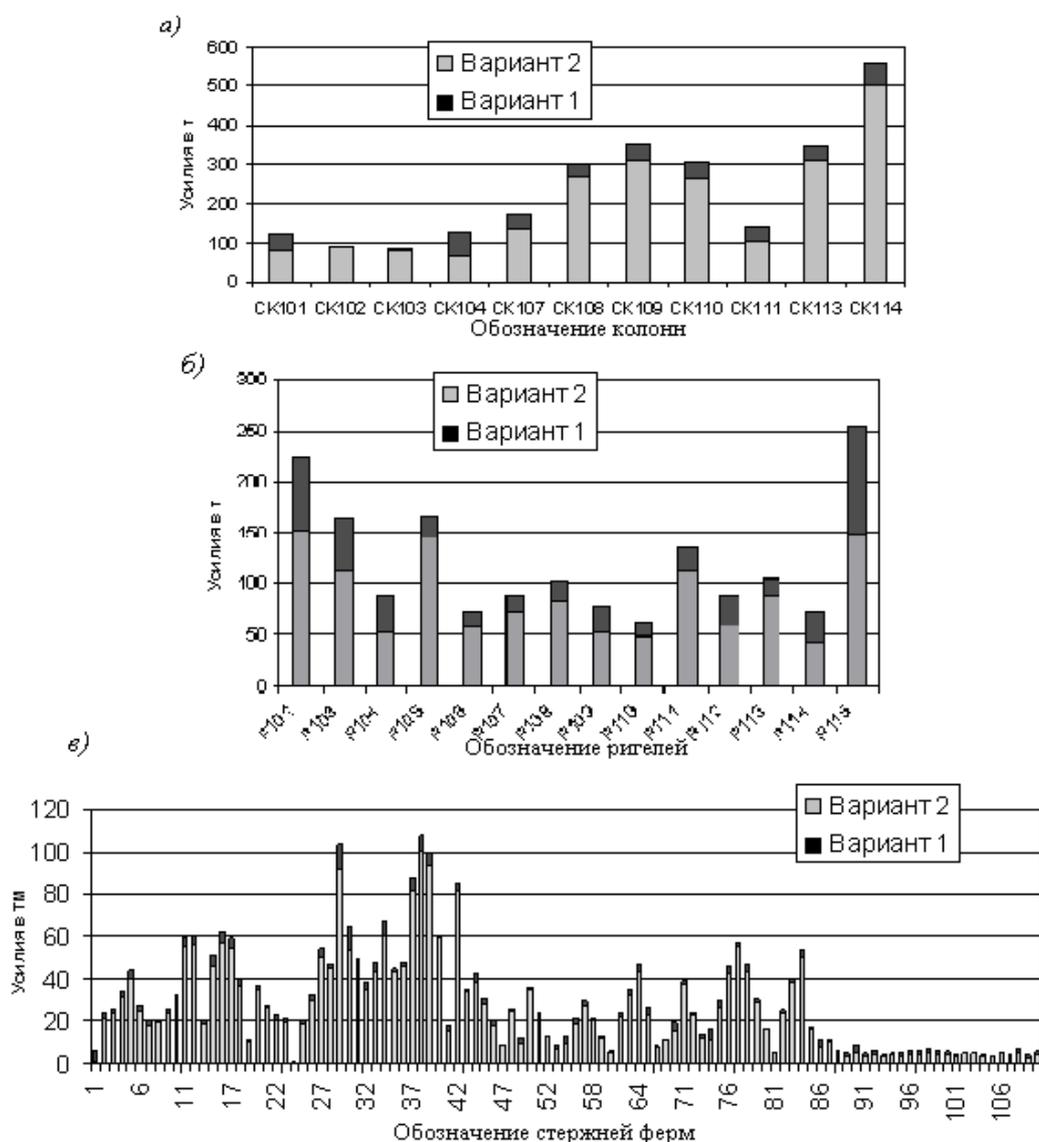


Рис. 4. Гистограммы усилий в элементах каркаса:
а – в колоннах; б – в ригелях встройки; в – в стержнях ферм

При авторском надзоре проектной организацией в возведенных конструкциях стального каркаса терминала 1А выявлены дефекты, возникшие при изготовлении и монтаже. Основными дефектами конструкций стального каркаса являются зазоры и перекосы во фланцевых узлах балок встройки, а также в соединениях ферм и прогонов. Выявлена расцентровка осей стержней в узлах пространственных трехгранных стропильных ферм криволинейного очертания при изготовлении, превышающая нормативные предельные значения. Авторами статьи выполнен анализ влияния возникших отклонений на напряженное состояние ферм и каркаса в целом. Выполнены проверочные расчеты с корректировкой расчетной схемы трехгранных ферм, учитывающей узловые эксцентриситеты при расцентровке стержней. Расчетами установлено, что несущая способность стального каркаса с имеющимися дефектами обеспечена.

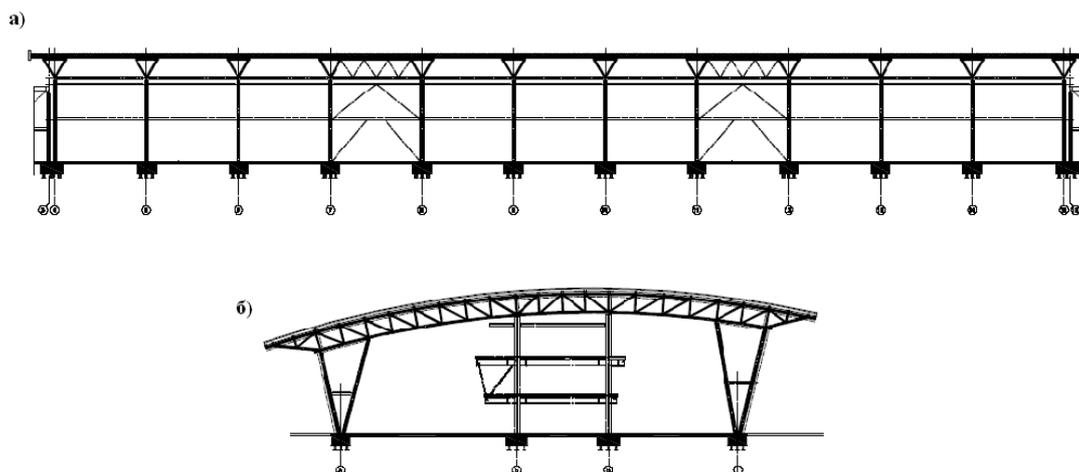


Рис. 5. Конструктивная схема здания: а – продольный разрез; б – поперечный разрез

По результатам выполненной работы установлено, что компоновочные решения каркаса существенно влияют на напряженно-деформированное состояние конструкций. С учетом анализа напряженно-деформированного состояния по первому варианту компоновки каркаса даны предложения по оптимизации компоновочного решения, повысившие эффективность и надежность стальных конструкций.

Список библиографических ссылок

1. Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н. Анализ проектов несущих конструкций Центрального стадиона и Большой ледовой арены для хоккея с шайбой в Сочи // Промышленное и гражданское строительство, 2009, № 10. – С. 4-6.
2. Еремеев П. Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений. – М.: АСВ, 2009. – 334 с.
3. Келасьев Н.Г. Особенности проектирования и строительства футбольного стадиона в Казани для проведения чемпионата мира по футболу // Промышленное и гражданское строительство, 2013, № 6. – С. 51-55.
4. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Киселев Д.Б., Одесский П. Д. Научно-техническое сопровождение проектирования и возведения несущих конструкций уникальных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство, 2011, № 4. – С. 88-92.
5. Тамбовцев М. В. Проблемы применения узлов на высокопрочных болтах при проектировании конструкций из круглых труб на примере футбольного стадиона на 45 тысяч зрителей в г. Казани // 100 лет со дня рождения проф. Е.И. Белени: сб. статей. – М.: МГСУ, 2013. – С. 204-210.
6. Барина Л.С., Пугачев С.В. Техническое регулирование в строительстве сегодня // Стандарты и качество, 2011, № 10. – С. 52-56.
7. Завьялова О.Б. Учет последовательности монтажа конструкций при расчете усилий в рамных системах // Изв. вузов. Строительство, 2009, № 2. – С. 115-122.
8. Сапожников А.И., Григоршев С.М. Учет последовательности возведения каркасных зданий различной конструктивной схемы // Изв. вузов. Строительство, 2010, № 2. – С. 96-105.

Agafonkin V.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: agafonkin@kgasu.ru

Dymolazov M.A. – senior lecturer

E-mail: maikl-d@mail.ru

Isaeva L.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: isaeva.5353@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Green st, 1.

**Analysis of constructive solution of steely framework of the building of terminal 1A,
«International airport» Kazan»****Resume**

Execution the research of a constructive solution of steely framework terminal building 1A international airport «Kazan», project documentation developed by the general designer «SavantElbul» (Bulgaria), with technical support from JSC «Kazan GIPRONIIAVIAPROM». Terminal consists of a main volume with dimensions 132x71,90 m. A constructive solution of the terminal building consists of transverse steely framework in steps of 12 m and longitudinal connections with the formation of a statically indeterminate spatial system. Transverse framework consists of a triangular truss curved, simply supported at the ends on the V-shaped columns, and in the middle – on the columns of the inner frame. Inner frame is designed as a two-story. Single-span space frame with rigid joints crossbars and columns. The analysis of a constructive solution of the frame terminal building showed that the placement of longitudinal connections at a great distance from each other leads to restriction of deformation. Numerical study of the stress-strain state of the elements of the steel skeleton confirmed the existence of a significant effort in the frame cells from the effects of temperature. There was a need to adjust the nodal connections in accordance with national standards. We offer a special procedure to install two separate compartments in winter, and then combine them in the summer, thus reducing the effort on the temperature in the longitudinal connections by 70 %, and in other elements of the frame from 10 to 20 %. Further optimization of the design solution, change the position of the longitudinal connections and circuits, the use of additional internal column led to a reduction in material costs by 9 %.

Keywords: constructive solution of framework building, layout scheme, temperature deformation, optimization framework building, flanged and welded joints.

Reference list

1. Nazarov U.P., Ghuk U.N., Simbirkin V.N. Analysis of the projects supporting structures of the Central Stadium and the Big Ice Arena for ice hockey in Sochi // *Industrial and civil construction*, 2009, № 10. – P. 4-6.
2. Eremeyev P.G. Modern-span steel structure covered with unique buildings and structures. – M.: ACV, 2009. – 334 p.
3. Kelasev N.G. Features design and construction of a football stadium in Kazan for the FIFA World Cup // *Industrial and civil construction*, 2013, № 6. – P. 51-55.
4. Vedyakov I.I., Eremeyev P.G., Kiselev D.B., Odesskiy P.D. Scientific – technical support for designing and construction of load-bearing structures of unique buildings and structures // *Industrial and civil construction*, 2011, № 4. – P. 88-92.
5. Tambovtsev M.V. Problems of application nodes in the high-strength bolts in the design of structures made of round tubes on the example of a football stadium for 45 thousands viewers in Kazan // *100 years since the birth of prof. E.I. Beleniy: sb. articles.* – M.: MGSU, 2013. – P. 204-210.
6. Barinova L.S., Pugachev S.V. Technical regulation in construction nowadays // *Standards and Quality*, 2011, № 10. – P. 52-56.
7. Zavyalova O.B. Accounting sequence assembly structures in the calculation efforts frame systems // *Izv. vuzov. Building*, 2009, № 2. – P. 115-122.
8. Sapozhnikov A.I., Grigorshev S.M. Accounting for the construction of a sequence of frame buildings of different structural layout // *Izv. vuzov. Building*, 2010, № 2. – P. 96-105.