

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ПОКРЫТИЯ СТАДИОНА ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФЕРМ

Е.В. Лебедь, Ж.М. Митев

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет
Ярославское шоссе, д. 26, Москва, Россия, 129337

На основе краткого обзора покрытий футбольных стадионов из ферм была разработана конструктивная схема большепролетного покрытия из металлических плоских ферм ортогонального направления.

Выполнено компьютерное исследование ресурса несущей способности этого покрытия в предположении аномального увеличения снеговой нагрузки.

Показано, что небольшое количество дополнительно установленных металлических стержней может существенно повысить несущую способность покрытия. Назначение таких стержней — уменьшение гибкости наиболее нагруженных элементов решетки металлических ферм в плоскости и из плоскости.

Установлены предельные величины снеговой нагрузки на разных этапах усиления и степень влияния на несущую способность покрытия добавляемых стержней.

Результаты исследований представлены рисунками и диаграммами. Сделаны выводы о ресурсе несущей способности большепролетного покрытия стадиона из плоских ортогональных ферм.

Ключевые слова: покрытие стадиона, большепролетные металлические фермы, несущая способность, усиление стержневой системы

В данной работе выполнено исследование напряженно-деформированного состояния большепролетного покрытия футбольного стадиона из металлических плоских ферм ортогонального направления, связанное с выявлением ресурса его несущей способности. Для решения этой задачи производилось увеличение действующей нагрузки на покрытие и наблюдение за изменением напряженно-деформированного состояния его конструктивной системы.

Покрытие футбольного стадиона характеризуется тем, что оно проектируется только над зрительскими трибунами, оставляя футбольное поле под открытым небом [1]. Конструктивные схемы таких покрытий многообразны, и одной из них является схема с ортогонально расположенными фермами. И среди таких покрытий стадионов тоже есть различные конструктивные решения. Приведем краткие характеристики аналогичных покрытий некоторых известных стадионов мира.

Эсприт Арена (Дюссельдорф, Германия) [2]. Главные поперечные фермы с параллельными (в основном) поясами и треугольной решеткой, ромбовидного в поперечном сечении вида, состоящие из совмещенных по высоте двух ферм трехгранного вида. Второстепенные продольные фермы с параллельными поясами

трехгранного вида с двумя верхними поясами и треугольной решеткой. Пояса ферм из двутавров, решетка из труб. Сопряжение второстепенных ферм с главными в пределах высоты нижней части поперечных ферм (рис. 1, *a*).

Открытие Арена (Москва, Россия) [3]. Продольные и поперечные фермы рычажного очертания и треугольной решеткой. Стержни ферм выполнены из труб. В поперечном сечении фермы имеют трехгранный вид с двумя нижними поясами. Сопряжение взаимно пересекающихся ферм выполнено в пределах высоты ферм по верхним и нижним поясам (рис. 1, *б*).

Стадион Эмиретс (Лондон, Великобритания) [4]. Продольные фермы рычажного очертания, поперечные фермы с параллельными поясами меньшей высоты. Фермы трехгранного вида с двумя нижними поясами и треугольной решеткой. Стержни ферм из труб. Сопряжение в пределах высоты ферм по верхним и нижним поясам (рис. 1, *в*).

Городской стадион Познань (Познань, Польша) [5]. Главные фермы сегментного очертания с поясными стержнями прямоугольного профиля и раскосной решеткой из труб. Фермы трехгранного вида с двумя верхними поясами. Второстепенные фермы рычажного очертания и крестовой решеткой попарно объединены в четырехгранные решетчатые системы. Они расположены в продольном направлении и опираются на верхний пояс главных поперечных ферм (рис. 1, *г*).

Тюрк Телеком Арена (Стамбул, Турция) [6]. Главные поперечные конструкции из спаренных ферм рычажного очертания и треугольной решеткой. Второстепенные продольные конструкции из спаренных фермы с параллельными поясами меньшей высоты и треугольной решеткой. Стержни поясов и решетки из труб. Сопряжение второстепенных ферм в пределах высоты главных ферм на их верхний пояс (рис. 1, *д*).

Стадион Сан-Сиро (Милан, Италия) [7]. Плоские фермы с параллельными поясами и раскосной решеткой из стержней прямоугольного профиля. Главные контурные пролетные конструкции состоят из четырех объединенных в пакет ферм. Высота ферм одинаковая, сопряжение в пределах высоты ферм соединением в уровне поясов (рис. 1, *е*).

Арена Байшада (Куритиба, Бразилия) [8]. Главные продольные конструкции из плоских парных фермы с параллельными поясами и раскосной решеткой. Пояса и стойки из двутавров, раскосы из парных уголков. Второстепенные поперечные конструкции из плоских парных фермы с параллельными поясами и треугольной со стойками решеткой. Поперечные фермы меньшей высоты и опираются на продольные ферм сверху (рис. 1, *ж*).

Гран Стад Лилль Метрополь (Вильнев-д'Аске, Франция) [9]. Плоские фермы с параллельными поясами и треугольной решеткой. Стержни ферм прямоугольного профиля. Продольные и поперечные фермы одинаковой высоты. Поперечные второстепенные фермы опираются на продольные главные фермы в пределах их конструктивной высоты соединением в уровне поясов (рис. 1, *з*).

Приведенный краткий обзор большепролетных покрытий стадионов показывает, что одни состоят из соединения двух вертикальных или наклонных (с одним общим поясом) ферм в объемные решетчатые пролетные конструкции (рис. 1, *a–г*), вторые — из стоящих рядом друг с другом нескольких плоских ферм (рис. 1, *д, е*), третьи — из отдельных плоских ферм (рис. 1, *ж, з*).

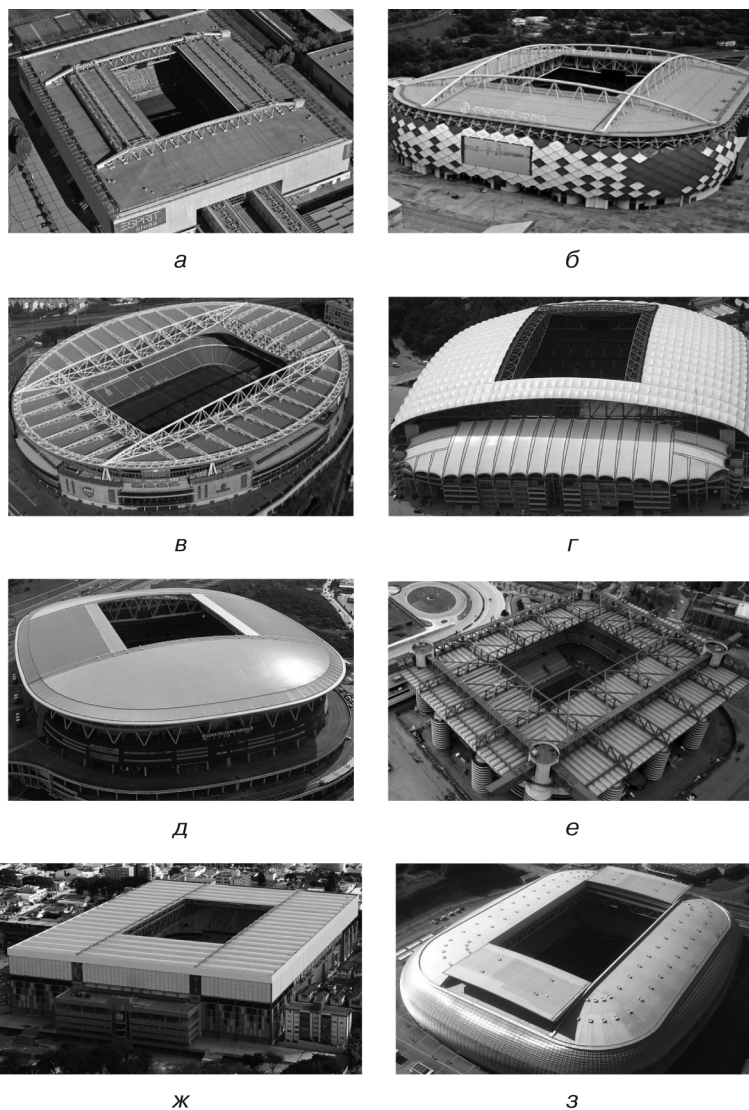


Рис. 1. Большепролетные металлические покрытия футбольных стадионов: а — Эсприт Арена; б — открытие Арена; в — стадион Эмирейтс; г — городской стадион Познань; д — Тюрк Телеком Арена; е — стадион Сан-Сиро; ж — арена Байшада; з — Гран Стад Лилль Метрополь

Основываясь на вышеприведенном обзоре покрытий футбольных стадионов, Митев Живко разработал большепролетное покрытие из главных ортогональных металлических плоских ферм с разными геометрическими схемами в поперечном (рис. 2, а) и продольном (рис. 2, б) направлениях. Поперечные фермы $\Phi 1$ имеют высоту 16,8 м, в средней части с параллельными поясами и ромбической решеткой, а над трибунами — переменную высоту и шпренгельную решетку. Пролет этих ферм 151,2 м. На фермы $\Phi 1$ опираются продольные фермы $\Phi 2$ с параллельными поясами и полураскосной решеткой. Их пролет 125,0 м, высота 13,0 м. Стержни всех металлических ферм стальные (S275) квадратного профиля в виде гнуто-сварных сечений или составленных из листов на сварке (размеры сечений от 200 мм до 600 мм).

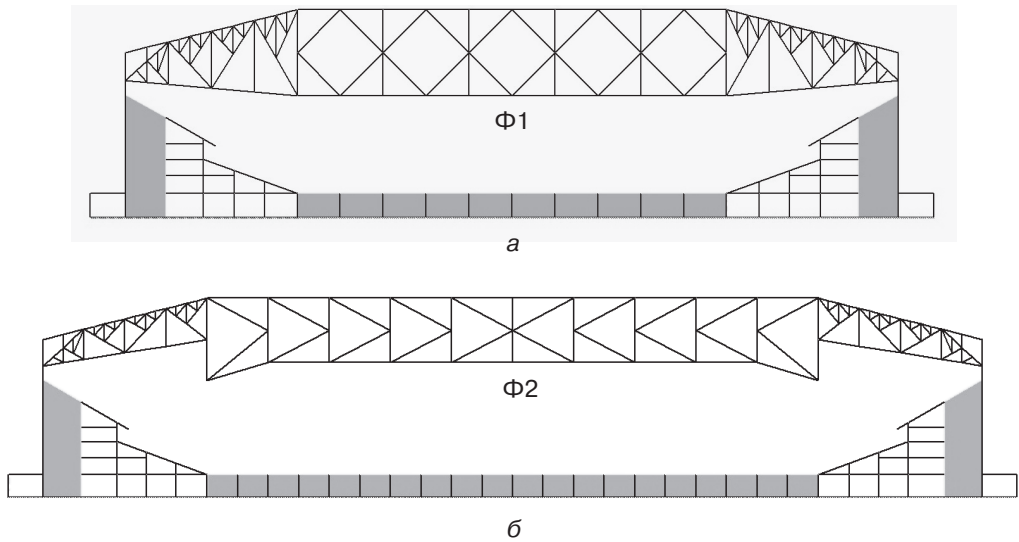


Рис. 2. Поперечный (а) и продольный (б) разрезы футбольного стадиона

Проектирование покрытия стадиона из металлических плоских ферм и исследование ресурса его несущей способности выполнялись на компьютере в программе Tower 7 в фирме «Аркон-64» ООД (руководители фирмы инж. Нина Желязкова и арх. Иван Райнов), офис которой находится в городе Стара Загора в Болгарии. Разработчиком программы Tower 7, основанной на МКЭ, является компания Radimpex [10].

Гипотетически предполагалось, что строительство и эксплуатация запроектированного стадиона будет осуществляться в Болгарии. В целом, исследуемое большепролетное покрытие футбольного стадиона представляет собой пространственную стержневую систему из металла, состоящую из главных ортогональных плоских ферм и вспомогательных плоских ферм, связей, распорок и кровельных прогонов между главными фермами и опорным контуром (рис. 3).

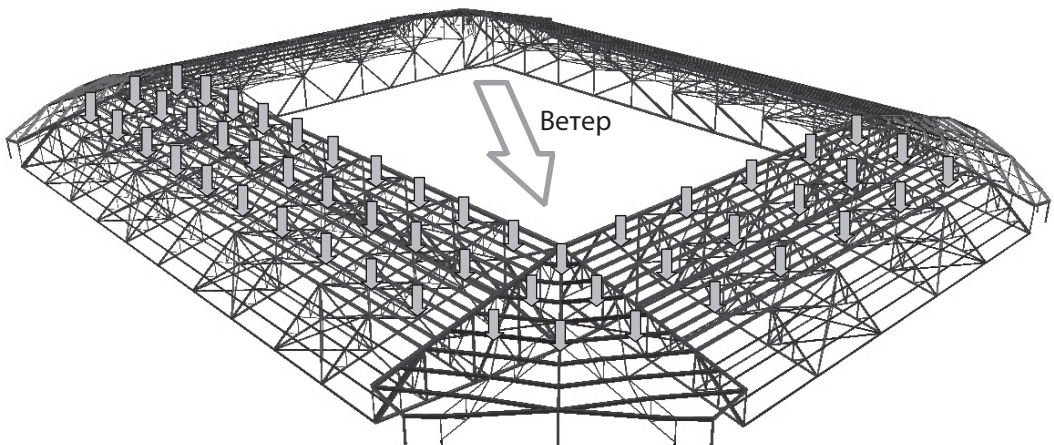


Рис. 3. Компьютерная модель металлического покрытия стадиона с дополнительной снеговой нагрузкой (колонны условно не показаны)

При назначении сечений стержням металлических конструкций покрытия футбольного стадиона были учтены нагрузки от собственного веса несущих и ограждающих конструкций, снеговая нагрузка и ветровое воздействие для города Стара Загора в Болгарии.

В целом, атмосферные воздействия носят вероятностный характер, которые для разных форм покрытий (в том числе и навесов) учитываются нормами [11; 12]. Однако при проектировании большепролетных уникальных покрытий футбольных стадионов для установления фактических атмосферных нагрузок с высоким уровнем надежности требуется проведение специальных исследований, учитывающих также и аномальные случаи. В данной работе такой задачи не ставилось. Для оценки предельных величин снеговой нагрузки производилось ее увеличение по сравнению с нормативным значением на части покрытия, которая рассматривается как дополнительная. Такой подход объясняется следующими соображениями. Покрытие футбольного стадиона по существу служит огромным навесом над зрительскими трибунами. Вследствие завихрения воздушных потоков при сильном ветре в подобных покрытиях весьма вероятным становится образование более мощного снегового покрова с подветренной стороны, особенно в тех случаях, когда ветер долгое время не меняет своего направления (см. рис. 3).

Исчерпание несущей способности покрытий с плоскими фермами происходит из-за потери устойчивости сжатых стержней, что зачастую приводит к его обрушению [13]. В покрытиях из ортогональных плоских ферм при наличии связей потеря устойчивости одного стержня может и не привести к обрушению конструкций, если при этом произойдет такое перераспределение усилий, которое не приведет к потере устойчивости другого стержня и т.д. В противном случае возникает ситуация, называемая прогрессирующим обрушением стержневой системы. Как известно, величина продольного усилия при потере устойчивости сжатого стержня зависит от его расчетной длины. Если уменьшить расчетную длину, то величина критической силы уменьшается и, следовательно, несущая способность стержневой конструкции или системы может увеличиться. Такой подход уже давно используется при усилении стержневых металлических конструкций посредством изменения их расчетной схемы [14; 15].

Для выявления ресурса несущей способности рассматриваемого покрытия стадиона производилось постепенное увеличение равномерно распределенной снеговой нагрузки на части покрытия. Начальное или проектное значение снеговой нагрузки принято $P_0 = 1,12 \text{ кН/м}^2$ [16], что составляет примерно от 60% до 80% от постоянной нагрузки в разных местах покрытия. При этом отслеживалась ситуация, при которой какой-либо стержень одной из ферм терял устойчивость, и отмечалась величина нагрузки P_1 . После этого середина длины этого стержня фиксировалась постановкой дополнительных стержней в плоскости и из плоскости фермы к ближайшим узлам стержневой системы покрытия. Затем такая же процедура повторялась с уже установленными дополнительными стержнями для выявления следующего теряющего устойчивость стержня и отмечалась величина нагрузки P_2 . Устанавливались еще два дополнительных стержня, после чего снова постепенно увеличивалась снеговая нагрузка. Каждая такая процедура была условно названа этапом исследования.

Фактически исследовалось напряженно-деформированное состояние большепролетного покрытия футбольного стадиона из ортогональных металлических ферм при частично изменяющихся конструктивных схемах и постепенном увеличении нагрузки. Это полностью соответствовало общим принципам геометрического построения и исследования стержневых пространственных систем на компьютерных расчетных моделях [17–20].

Вначале при поэтапном увеличении нагрузки теряли несущую способность отдельные раскосы решеток главных ортогональных ферм, которые усиливались дополнительными стержнями (рис. 4). Затем стали терять устойчивость раскосы решеток вспомогательных ферм, которые также усиливались дополнительными стержнями (рис. 5). Для усиления этих же раскосов из плоскостей ферм устанавливались дополнительные связи-растяжки к узлам стержневой системы покрытия (рис. 6).

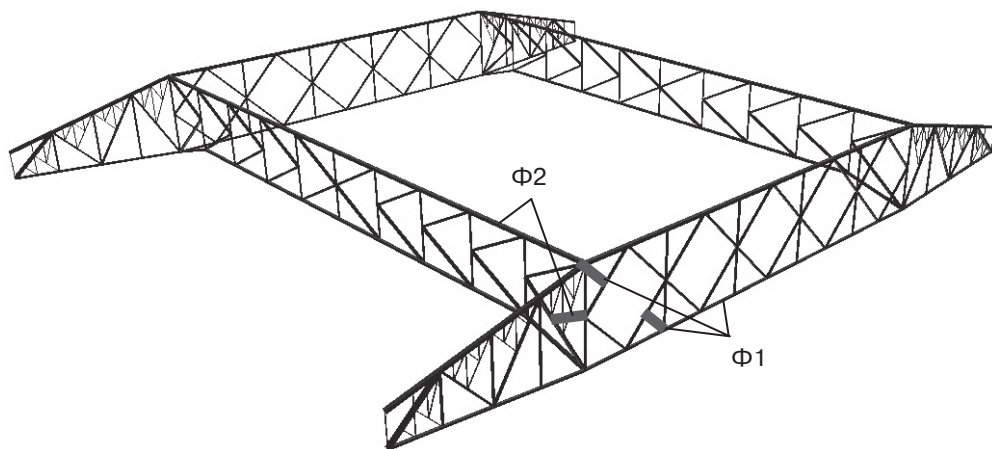


Рис. 4. Усиление главных ферм дополнительными стержнями

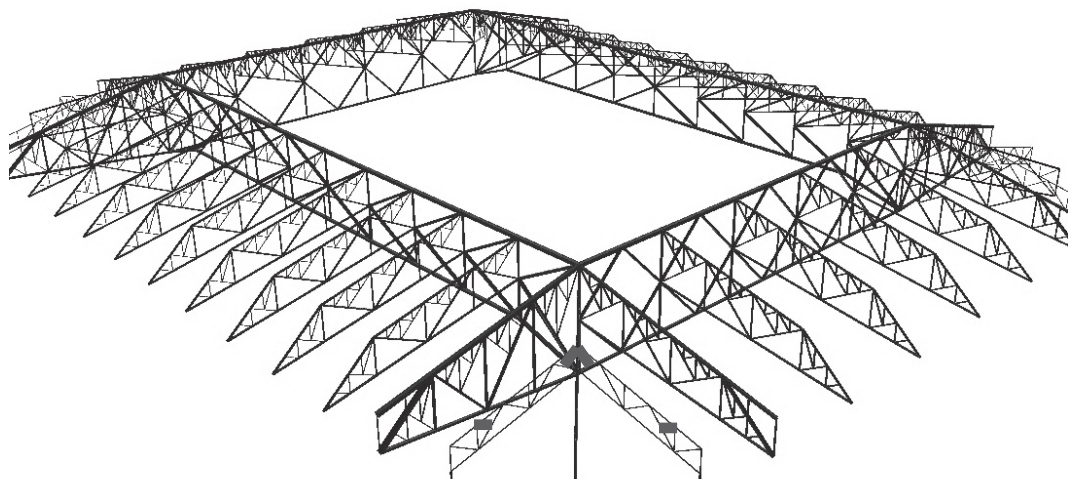


Рис. 5. Усиление вспомогательных ферм дополнительными стержнями

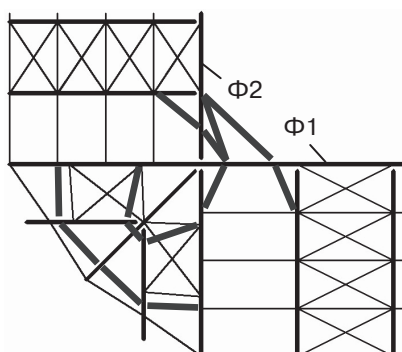


Рис. 6. Схема размещения дополнительных связей-растяжек

На каждом этапе исследования фиксировалась величина равномерной снеговой нагрузки на догружаемой части покрытия, при которой один из стержней исчерпывал свою несущую способность, в результате чего была получена диаграмма, приведенная на рис. 7. Отметим, что заблаговременный учет подобного увеличения снеговой нагрузки может сохранить надежность большепролетного покрытия стадиона в случае аномально больших снегопадов.

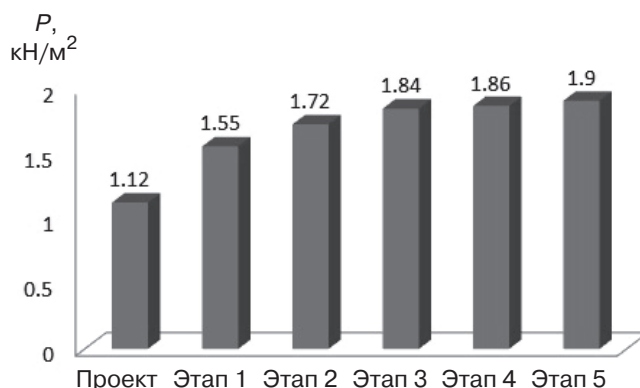


Рис. 7. Диаграмма увеличения предельной снеговой нагрузки P

Если сопоставить некоторое увеличение расхода металла на дополнительно устанавливаемые стержни усиления, во всех аналогичных участках большепролетного покрытия футбольного стадиона, с металлоемкостью всех его конструкций по мере увеличения несущей способности, то получим графики, представленные на рис. 8.

Из этих графиков видно, что при незначительном увеличении расхода металла можно получить существенное увеличение несущей способности покрытия из плоских металлических ферм ортогонального направления, причем уже при трех этапах нагружения с дополнительным усилением достигается значительный эффект от усиления раскосов ферм дополнительными стержнями, позволяющий безаварийно воспринимать распределенную снеговую нагрузку в 1,5 раза больше проектной величины.

Конечно же, не следует забывать, что при другом конструктивном решении большепролетного покрытия стадиона этот эффект может быть другим. Поэтому

для выявления ресурса несущей способности для каждого уникального покрытия из ортогональных ферм требуется проведение отдельных исследований.

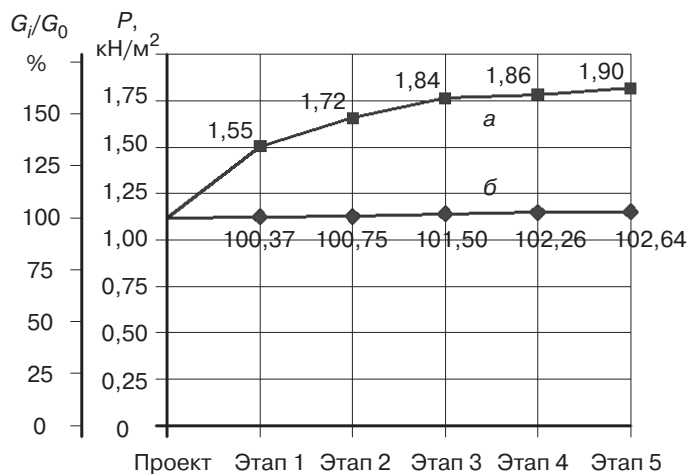


Рис. 8. Графики поэтапного увеличения предельной снеговой нагрузки P (а) и увеличения расхода металла G (б) на конструкции покрытия

По результатам выполненных исследований большепролетного покрытия футбольного стадиона из металлических плоских ферм ортогонального направления можно сделать следующие **выводы**.

Если выявить наиболее нагруженные сжатые элементы стержневой системы, то посредством раскрепления их в плоскости и из плоскости ферм можно повысить ресурс несущей способности большепролетного покрытия.

Затраты металла на дополнительно устанавливаемые стержни усиления по сравнению с достигаемым эффектом увеличения несущей способности покрытия стадиона малозначительны.

В разработанном конструктивном решении покрытия футбольного стадиона можно внести изменение в стержневую систему, эквивалентную дополнительным стержням, например, частичным изменением системы решетки ферм и постановкой большего числа связей между ними.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Куйбышев В.В. Крытые стадионы (назначение, классификация, устройство). М.: Стройиздат, 1973. 200 с.
- [2] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Эсприт Арена. Режим доступа: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=esprit_arena. Дата обращения: 06.11.16.
- [3] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Открытие Арена. URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=otkritie_arena. Дата обращения: 06.11.16.
- [4] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Эмирейтс стадион. URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=emireyts_stadion. Дата обращения: 06.11.16.
- [5] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Городской стадион (Познань). URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=gorodskoy_stadion_poz-nanj. Дата обращения: 06.11.16.
- [6] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Тюрк Телеком Арена. URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=tyurk_telekom_arena. Дата обращения: 06.11.16.

- [7] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Сан-Сиро. URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=san_siro. Дата обращения: 06.11.16.
- [8] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Арена Байшада. URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=arena_bayshada. Дата обращения: 06.11.16.
- [9] FSTADIUM.com. Футбольные стадионы мира. Гран Стад Лилль Метрополь. URL: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=gran_stad_lillj_metropolj. Дата обращения: 06.11.16.
- [10] Radimpex Software. URL: <http://www.radimpex.rs/index.php?lang=ru>. Дата обращения: 10.11.2016.
- [11] СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* / Минрегион России. М.: ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко — ин-т ОАО «НИЦ Строительство», РААСН и ГГО им. А.И. Воейкова, 2010. 80 с.
- [12] Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1: Воздействия на сооружения. Стандарты EN 1991-1-1 и 1991-1-3–1-7 : пер. с англ. / Х. Гульванесян, П. Формичи, Ж.-А. Калгаро при участии Джеоффа Хардинга (часть 7). М.: МГСУ, 2012. 344 с.
- [13] *Лащенко М.Н.* Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1969. 184 с.
- [14] Металлические конструкции / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др. / под ред. Ю.И. Кудишина. М.: Академия, 2008. 688 с.
- [15] Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектсталькон-струкция им. Н.П. Мельникова) М.: Изд-во АСВ, 1999. 528 с.
- [16] Нормативни документи. Натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. София: Техника, 2005. 120 с.
- [17] *Лебедь Е.В.* Компьютерная технология проектирования большепролетных пространственных покрытий // Информ. технол. в образов: сб. матер. межвуз. науч.-мет. конфер. Саратов. гос.техн.ун-т, 2000. С. 138—140.
- [18] *Семенов А.А., Порываев И.А., Софоян С.В., Гилемханов Р.А., Семенов С.А.* Анализ работы несущих конструкций покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. № 4 (31) / Санкт-Петербургский политехнический университет, ПНИПКУ «Венчур». 2015. С. 58—81.
- [19] *Romaswamy G.S., Eekhout M., Suresh G.R.* Analysis, design and construction of steel frames. London: Thomas Telford Publishing, 2002. 242 p.
- [20] *Yeremeyev P., Kiselev D., Saveleyev V.* Steel Carrying Structures of Roof over the Lokomotiv Moscow Stadium Stands // Space structures 5: This volume contains the proceedings of the Fifth International Conference on Space Structures, Guildford. London: Thomas Telford Publishing, 2002. P. 1303—1312.

A STUDY OF THE RESOURCE OF BEARING CAPACITY OF THE LARGE-SPAN ROOF OF A STADIUM MADE OF ORTHOGONAL METAL TRUSSES

E.V. Lebed, J.M. Mitev

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, Russia, 129337

Based on an overview of the roof systems of football stadiums, a structural system of a large-span roof made of orthogonal 2-D metal trusses was developed.

A computer analysis of bearing capacity of the roof was performed under the assumption of the abnormal increase of the snow load.

It has been demonstrated that a limited number of additionally installed metal bars can significantly increase the bearing capacity of the roof. The role of these bars is to reduce the effective length of the most loaded elements of the grid of metal trusses for in-plane and out-of-plane buckling.

The limit values of snow load for consecutive steps of reinforcement are established, and the effect of the added bars on the bearing capacity of the roof structure is estimated.

The results of the investigation are presented in the form of drawings and diagrams. Conclusions are made on the resource of the load-bearing capacity of the large-span roof of the stadium made of 2-D orthogonal trusses.

Key words: roof of a stadium, large-span metal trusses, bearing capacity, reinforcement of a truss system

REFERENCES

- [1] Kuibyshev V.V. Krytye stadiony (naznachenie, klassifikatsiya, ustroystvo). M.: Stroizdat, 1973. 200 s.
- [2] FSTADIUM.com. Esprit Arena. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=esprit_arena. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [3] FSTADIUM.com. Otkrytie arena. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=otkritie_arena. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [4] FSTADIUM.com. Futbol'nye stadiony mira. Emireits stadion. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=emireyts_stadion. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [5] FSTADIUM.com. Futbol'nye stadiony mira. Gorodskoy stadion (poznaniy). Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=gorodskoy_stadion_poznanj. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [6] FSTADIUM.com. Futbol'nye stadiony mira. Tyurk Telekom Arena. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=tyurk_telekom_arena. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [7] FSTADIUM.com. Futbol'nye stadiony mira. San-Siro. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=san_siro. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [8] FSTADIUM.com. Futbol'nye stadiony mira. Arena Baishada. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=arena_bayshada. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [9] FSTADIUM.com. Futbol'nye stadiony mira. Gran Stad Lill' Metropol'. Rezhim dostupa: http://fstadium.com/index.php?view=stadiums&t=gran_stad_lillj_metropolj. Data obrashcheniya: 06.11.16.
- [10] Radimpex Software. Rezhim dostupa: <http://www.radimpex.rs/index.php?lang=ru>. Data obrashcheniya: 10.11.2016.
- [11] SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.01.07-85*. Minregion Rossii. M.: TsNIISK im V.A. Kucherenko — in-t OAO "NITs Stroitel'stvo", RAASN i GGO im. A.I. Voeikova, 2010. 80 s.
- [12] Rukovodstvo dlya proektirovshchikov k Evrokodu 1: Vozdeystviya na sooruzheniya. Standarty EN 1991-1-1 1991 i 1-3-1-7: per. s angl. H. Gul'vanesyan, P. Formichi, Zh.-A. Kalgaro pri uchastii Dzhoeffa Hardinga (chast' 7). M.: MGSU, 2012. 344 s.
- [13] Lashchenko M.N. Avarii metallicheskih konstruksiy, sdaniy I sooruzheniy. L.: Stroizdat. Leningradskoe otdelenie, 1969. 184 s.
- [14] Metallicheskie konstruksii. Yu.I. Kudishin, E.I. Belenya, V.S. Ignat'eva i dr.; pod red. Yu.I. Kudishina. M.: Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2008. 688 s.
- [15] Metallicheskie konstruksii. V 3-h t. T. 3. Stal'nye sooruzheniya, konstruksii iz alyuminievykh splavov. Rekonstruksiya, obsledovanie, usilenie i ispytanie konstruksiy zdaniy i sooruzheniy. (Spravochnik proektirovshchika). Pod obshch. Red. V.V. Kuznetsova (TsNIIproektstal'konstruksiya im. N.P. Mel'nikova). M.: Izd-vo ASV, 1999. 528 s.

- [16] Normativni dokumenti. Natovarvaniya i v"zdeistviya v"rkhu sgradi i s"or"zheniya. Sofiya: Izdatelstvo "Tekhnika" 2005. 120 s.
- [17] Lebed E.V. Komp'yuternaya tekhnologiya proektirovaniya bol'sheproletnykh prostranstvennykh pokrytiy. Inform. Tekhnol. v obrazov.: sb. mater. mezhvuz. nauch.0met. konfer. Sarat.gos.tekhn.un-t, 2000. S. 138-140.
- [18] Semenov A.A., Poryvaev S.V., Sofoyan S.V., Gilemkanov R.A., Semenov S.A. Research of spatial metal roof of long-span sport arena. Construction of Unique Buildings and Structures. № 4 (31). Saint-Petersburg Polytechnic University, research and design institution "Venchur". 2015. P. 58—81.
- [19] Romaswamy G.S., Eekhout M., Suresh G.R. Analysis, design and construction of steel frames. London: Thomas Telford Publishing, 2002. 242 p.
- [20] Yeremeyev P., Kiselev D., Savelyev V. Steel Carrying Structures of Roof over the Lokomotiv Moscow Stadium Stands. Spase structures 5: This volume contains the proceedings of the Fifth International Conference on Space Structures, Guildford. London: Thomas Telford Publishing, 2002. P. 1303—1312.