

ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТАДИОНОВ К ЧЕМПИОНАТУ МИРА ПО ФУТБОЛУ 2018 ГОДА В РОССИИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

A.M. Белостоцкий^{1, 2, 3, 4, 5, 6}, А.И. Нагибович^{1, 7}

¹ Научно-исследовательский центр СтаДиО, г. Москва, РОССИЯ

² Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, РОССИЯ

³ Российский университет дружбы народов, г. Москва, РОССИЯ

⁴ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, РОССИЯ

⁵ Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, РОССИЯ

⁶ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, РОССИЯ

⁷ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, РОССИЯ

Аннотация: В настоящей статье представлены: описание особенностей расчетного обоснования механической безопасности трехмерных большепролетных систем «грунтовое основание – железобетонные конструкции фундаментов и трибун – металлические конструкции покрытия и фасадов» футбольных стадионов к чемпионату мира по футболу 2018 года в России при основных и особых сочетаниях нагрузок и постановка задач будущих исследований.

Ключевые слова: математическое моделирование, численные методы, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, механическая безопасность, футбольный стадион.

STRUCTURAL SAFETY ANALYSIS OF STADIUMS FOR THE 2018 FIFA WORLD CUP IN RUSSIA. FORMULATION OF PROBLEMS OF STRUCTURAL ANALYSIS

Alexander M. Belostotsky^{1,2, 3, 4, 5, 6}, Alexander I. Nagibovich^{1, 7}

¹ Scientific Research Center “StaDyO”, Moscow, RUSSIA

² Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, RUSSIA

³ Peoples’ Friendship University of Russia, Moscow, RUSSIA

⁴ Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, RUSSIA

⁵ Russian University of Transport» (RUT – MIIT), Moscow, RUSSIA

⁶ Perm National Research Polytechnic University, Perm, RUSSIA

⁷ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, RUSSIA

Abstract: The article presents structural safety analysis of the three-dimensional long-span systems “ground base – reinforced concrete foundation structures and stands - metal structures of the coating and facades” of football stadiums for the 2018 World Cup in Russia with basic and special combinations of loads and formulation problems of future investigations.

Keywords: math modeling, numerical methods, related production, stress-strain state, strain-stress state, mechanical safety, football stadium.

Современное проектирование и строительство уникальных зданий и сооружений немыслимо без расчетного обоснования и

глубоких всесторонних исследований поведения несущих конструкций под действием разного рода воздействий.

Одними из наиболее грандиозных и ответственных объектов строительства являются уникальные большепролетные сооружения, такие как: стадионы, дворцы спорта и аквапарки, торгово-развлекательные комплексы, пешеходные, автомобильные и железнодорожные мосты различных конструктивных решений.

В этом году в период с 14 июня по 15 июля в России пройдет Чемпионат Мира по футболу. Подготовка к этому мероприятию требует значительных затрат и, в первую очередь, проектирования и строительства новых весьма вместительных стадионов, отвечающие современным требованиям безопасности и критериям FIFA.

К проведению чемпионата построены и реконструированы 12 футбольных стадионов: «Лужники» и «Открытие Арена» в г.Москва, «Санкт-Петербург Арена» («Зенит»), г.Санкт-Петербург, «Казань Арена» в г.Казань, «Нижний Новгород Арена» в г.Нижний Новгород, «Волгоград Арена» в г.Волгоград, «Ростов Арена» в г.Ростов-на-Дону, «Екатеринбург Арена» в г.Екатеринбург, «Самара Арена» в г.Самара, «Мордовия Арена» в г.Саранск, «Арена Балтика» в г.Калининград, «Фишт» в г.Сочи.

Несущие конструкции футбольного стадиона представляют собой пространственную большепролетную систему, состоящую из следующих основных фрагментов: грунтовое или свайное основание, железобетонные конструкции фундаментов и трибун, металлические конструкции покрытия и фасада. Расчетное обоснование механической/конструктивной безопасности (напряженно-деформированного состояния (НДС), динамики, прочности и устойчивости) такого рода комбинированных систем имеет ряд особенностей. Ниже приведены наиболее значимые из них:

1) «Экстремальная» вычислительная размерность задач, с известными последствиями. Очевидная сложность заключается в анализе и обработке значительного объема проектной и нормативной доку-

ментации и построения в точном соответствии с ними подробной геометрической, а затем и конечноэлементной модели системы «основание – железобетонные конструкции фундаментов и трибун – металлоконструкции покрытия и фасадов» при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий. Модели включают в себя внушительное (несколько сотен-тысяч) количество типов сечений, жесткостей, материалов конструкций.

2) Как правило, разработку и расчетную оптимизацию связанных основных подсистем, таких как основание, железобетонные конструкции чаши стадиона, металлические конструкции покрытия, фасадные конструкции и т.д. ведут независимо друг от друга различные проектные организации. Зачастую построить расчетную модель полной системы «основание – железобетонные конструкции чаши стадиона – металлические конструкции крыши» этим фирмам не представляется возможным. Препятствиями к этому служат различные факторы, от большой вычислительной размерности таких моделей до несовместимости форматов файлов расчетных моделей в различных программных комплексах и коммерческих тайн. В такой ситуации рациональным решением был бы переход к исследованию НДС, прочности, устойчивости и динамики пространственной системы несущих железобетонных и металлических конструкций футбольного стадиона в рамках сепаратных моделей, что позволяет решить проблемы организационного характера при проектировании уникальных сооружений, а также значительно снизить вычислительную размерность задачи. Для обоснования такого перехода требуется провести сравнительный анализ собственных частот и форм колебаний полной модели конструкций стадиона (системы «основание – железобетонные конструкции фундаментов и трибун –

№	КЭ-модели системы/подсистемы	Изображение	Количество узлов	Количество элементов	Программный комплекс/ Типы КЭ
1	«свайно-грунтовое основание – железобетонные конструкции чаши стадиона»		296 960	355 555	ANSYS Mechanical SHELL181 BEAM188 MPC184 SURF154 COMBIN14
2	«металлические конструкции покрытия и фасада»		8 956	16 088	ANSYS Mechanical SHELL181 BEAM188 LINK180 MPC184 SURF154
3	«свайно-грунтовое основание – железобетонные конструкции чаши стадиона – металлические конструкции покрытия и фасада»		301 630	367 623	ANSYS Mechanical SHELL181 BEAM188 LINK180 MPC184 SURF154 COMBIN14
4	несущие конструкции северной сборно-разборной трибуны		43 566	117 964	SCAD Office 5 42 44 51 100
5	несущие конструкции южной сборно-разборной трибуны		41 468	114 109	SCAD Office 5 42 44 51 100

Рисунок 1. Разработанные расчетные КЭ-модели несущих конструкций стадиона в г. Екатеринбург. ПК ANSYS Mechanical и ПК SCAD Office.

металлоконструкции покрытия и фасадов») и моделей подсистем и оценить насколько велико влияние податливости опорной подсистемы «основание – железобетонные конструкции фундаментов и трибун» на статическое состояние, динамику и устойчивость подсистемы «металлоконструкции покрытия и фасадов». При слабом влиянии, т.е. при отсутствии совместных форм и незначительном расхождении значений частот колебаний для родственных форм, можно сделать вывод о возможности исследования НДС в рамках сепаратных моделей.

Альтернативным подходом, который можно применить даже в том случае, когда сравнительный анализ собственных частот и форм колебаний полной модели конструкций стадиона и моделей подсистем не дает удовлетворительного ответа (возможность декомпозиции), является метод суперэлементов (МСЭ) или метод динамического синтеза подконструкций.

- 3) При устройстве свайных или свайно-плитных фундаментов футбольных стадионов возникает задача моделирования неоднородного грунтового основания и свайного поля, содержащего порядка десяти тысяч свай. Процесс моделирования такого количества свай требует применения макросов – написанных на встроенным в программный комплекс (или стороннем) языке программирования скриптов или подпрограмм-макросов, что позволяет эффективно, автоматизировано и в короткие сроки задавать и итерационно корректировать жесткости и обрабатывать выходные данные для такого массива свай.
- 4) Динамические воздействия, обусловленные согласованными движениями большого числа людей, находящихся на трибунах спортивных сооружений, вызывают колебания конструкций, которые, в свою очередь, могут снижать комфортность пребывания людей в таких сооружениях.

При проектировании конструкций трибун спортивных сооружений необходимо исключить возможность их резонансного возбуждения, от синхронного движения людей. Для этого предельные прогибы конструкций трибун должны быть определены исходя из физиологических требований («зыбкости») по п.10.10 СНиП 2.01.07-85*. Кроме того, частоты собственных колебаний конструкций трибун должны быть в вертикальном направлении больше 5 Гц, а в горизонтальном направлении – больше 3 Гц (данные критерии могут незначительно отличаться и определяются в СТУ).

Расчет на динамическую комфортность неразрывно связан с многоитерационным процессом дополнения и корректировки положения несущих конструкций стадиона на основании результатов статических и динамических расчетов для удовлетворения критериям динамической комфортности (иными словами зыбкости) конструкции «гребенки» трибун.

- 5) Для металлических конструкций покрытий и фасада требуется провести расчет на устойчивость с учетом физической и геометрической нелинейностей и начальных несовершенств. Также необходимо геометрически нелинейное моделирование предварительно напряженных вантовых элементов в составе конструкций покрытия (для стадионов, покрытия которых имеют соответствующие конструктивные решения), в том числе, при расчете на прогрессирующее обрушение.
- 6) Для наиболее сложных и ответственных узлов металлических конструкций покрытий требуется проводить уточненный трехмерный физически нелинейный КЭ-анализ НДС и прочности наиболее напряженных конструктивных узлов с учетом реальной диаграммы деформирования. Как правило, такой расчет проводит с использованием оболочечно-стержневой конечноэлементной модели

Стадион в г. Самара «Самара Арена»



Рисунок 2. Архитектурный проект стадиона в г. Самара.

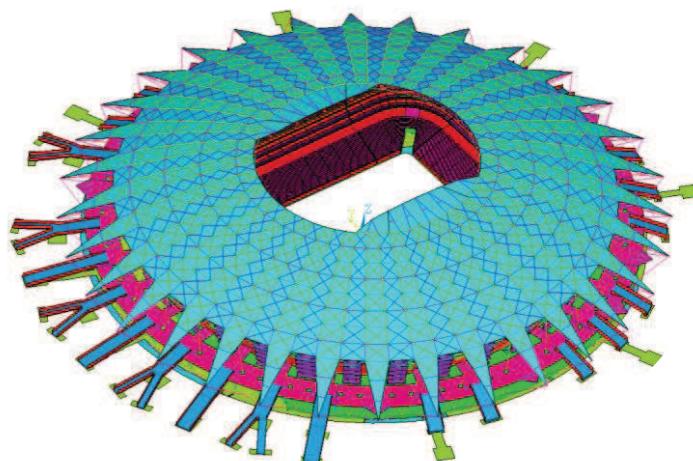


Рисунок 3. Разработанная трехмерная оболочечно-стержневая КЭ-модель стадиона в г. Самара (ПК ANSYS Mechanical).

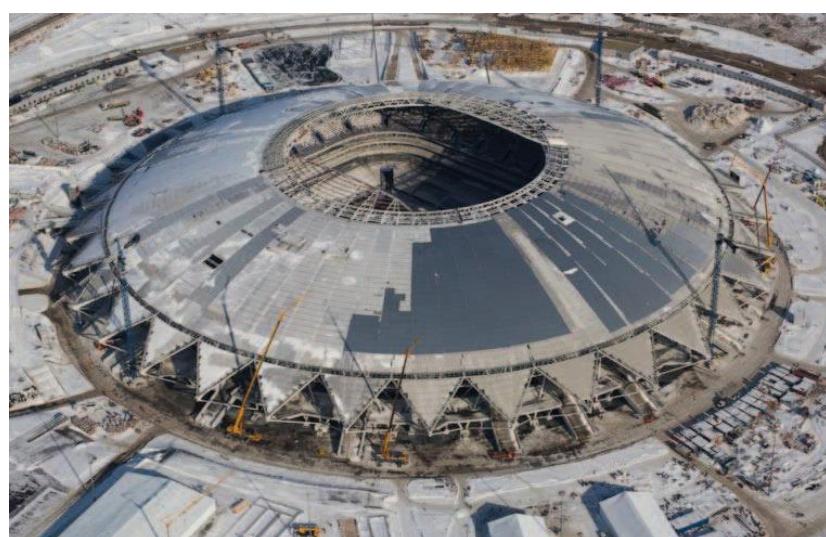


Рисунок 4. Фотография стадиона в г. Самара (по состоянию на январь 2018 года).

Обоснование механической безопасности стадионов к Чемпионату мира по футболу 2018 года в России.
Постановка задач расчетных исследований

Стадион в г. Нижний Новгород «Нижний Новгород Арена»



Рисунок 5. Архитектурный проект стадиона в г. Нижний Новгород.

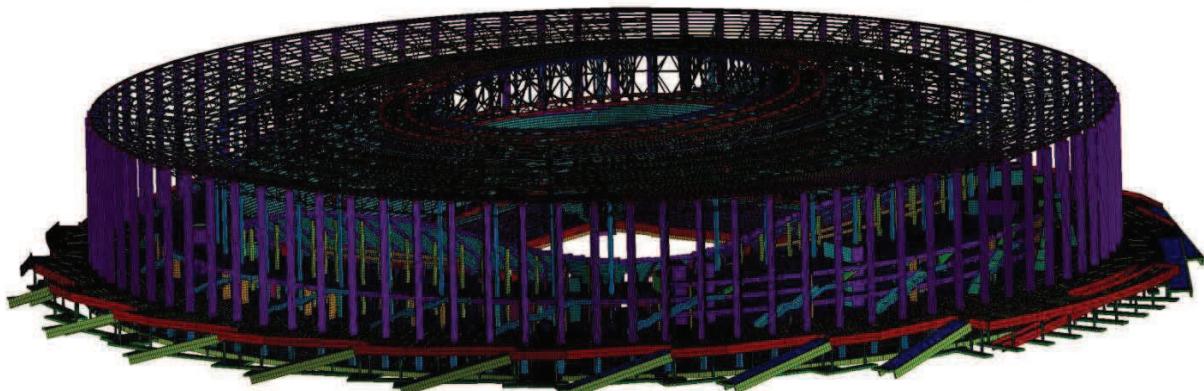


Рисунок 6. Разработанная трехмерная оболочечно-стержневая КЭ-модель стадиона в г. Нижний Новгород (ПК ANSYS Mechanical).



Рисунок 7. Фотография стадиона в г. Нижний Новгород (по состоянию на декабрь 2017 года).

Стадион в г. Волгоград «Волгоград Арена»

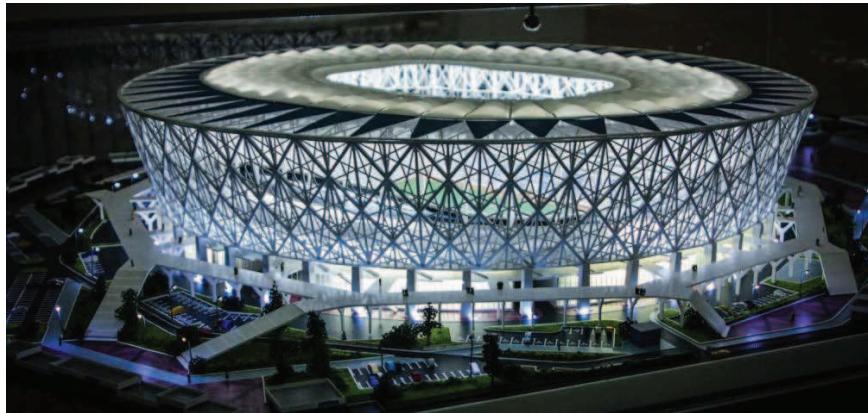


Рисунок 8. Архитектурный проект стадиона в г. Волгоград.

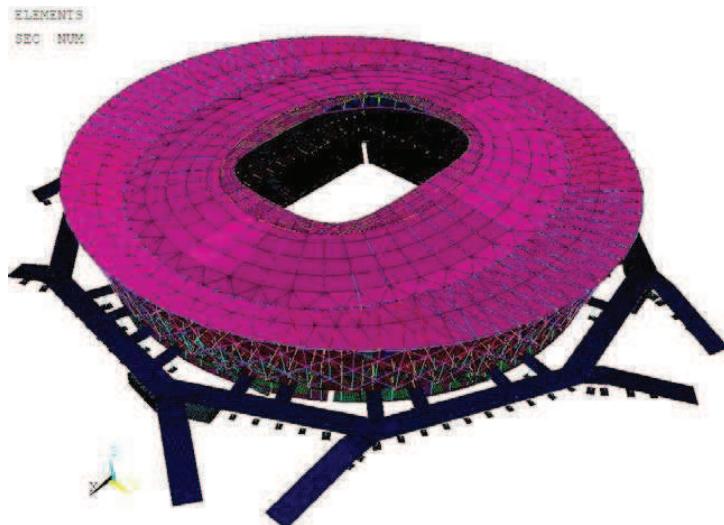


Рисунок 9. Разработанная трехмерная оболочечно-стержневая КЭ-модель стадиона в г. Волгоград (ПК ANSYS Mechanical).



Рисунок 10. Фотография стадиона в г. Волгоград (по состоянию на декабрь 2017 года).

Обоснование механической безопасности стадионов к Чемпионату мира по футболу 2018 года в России.
Постановка задач расчетных исследований

Стадион в г. Екатеринбург «Екатеринбург Аrena»

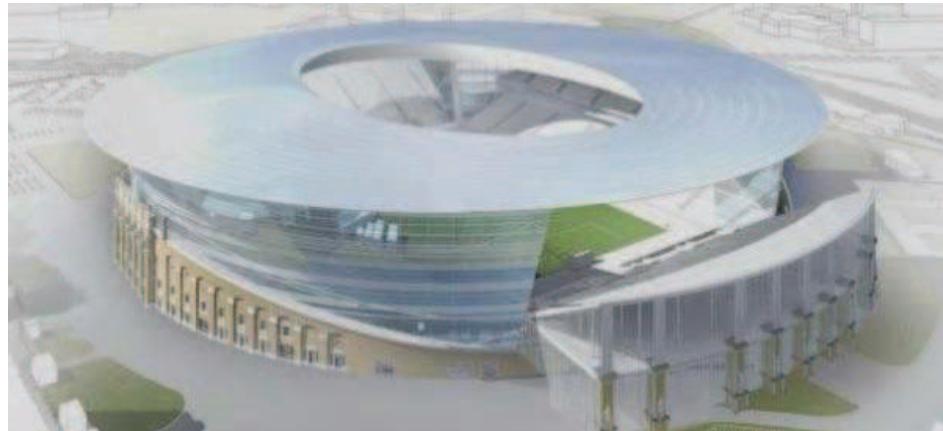


Рисунок 11. Архитектурный проект стадиона в г. Екатеринбург.

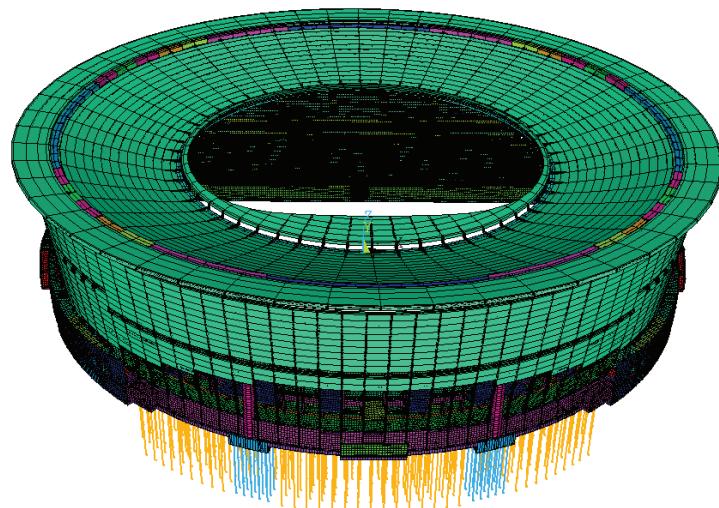


Рисунок 12. Разработанная трехмерная оболочечно-стержневая КЭ-модель стадиона в г. Екатеринбург (ПК ANSYS Mechanical).



Рисунок 13. Фотография стадиона в г. Екатеринбург (по состоянию на декабрь 2017 года).

- покрытия, в которую встраивается объемная модель исследуемого узла, имеющая необходимые зоны сгущения сетки конечных элементов для более адекватного воспроизведения НДС. Разработанные таким образом модели верифицируются путем сравнения максимальных перемещений до и после включения узла в общую модель от расчетной нагрузки.
- 7) Некоторые стадионы к чемпионату мира по футболу в России расположены в сейсмически активных районах (Калининград, Ростов-на-Дону, Краснодар, Сочи). Соответственно для них необходимо проводить динамические расчеты систем «основание – железобетонные конструкции фундаментов и трибун – металлоконструкции покрытия и фасадов» на сейсмические воздействия уровня ПЗ (по линейно-спектральной методике на трехкомпонентные спектры ускорений) и МРЗ (прямым интегрированием уравнений движения на трехкомпонентные акселерограммы).
 - 8) В составе конструкций стадионов возможных и реконструируемых к проведению чемпионата мира для увеличения количества зрительских мест может быть предусмотрено устройство временных сборно-разборных трибун. Моделирование и расчет временных сборно-разборных трибун, как правило, имеет многоитерационный характер. Для удовлетворения критериев прочности требуется корректировать первоначальные варианты конструкций временных трибун на основании результатов статических и динамических расчетов. В результате такого оптимизационного процесса могут быть удовлетворены как требования прочности и устойчивости конструкций так и физиологические требования по «зыбкости» или, другими словами, динамической комфортности.
 - 9) Для повышения качества расчетных обоснований проектных решений совре-

менных сложных объектов строительства, во избежание просчетов в проектировании, приводящих к аварийным ситуациям в ходе строительства и эксплуатации, разработаны требования, согласно которым проектным организациям рекомендуется осуществлять расчеты не менее чем по двум моделям, независимо разработанным в двух верифицированных ПК, проводить сопоставительный анализ полученных результатов. Сопоставляются основные интегральные характеристики конструкций, такие как масса сооружения, собственные частоты и формы колебаний, перемещения сооружения целиком и отдельных конструктивных элементов, усилия в основных типах несущих конструктивных элементов. Для того чтобы добиться приемлемого различия значений, в тесном взаимодействии с коллегами, выполняющими альтернативный расчет, требуется провести калибровки расчетных моделей и устранить все возможные расхождения в жесткостных характеристиках, нагрузках и т.д. что в свою очередь позволяет свести значениях сравниваемых параметров конструкций до приемлемых величин.

- 10) Научно-техническое сопровождение прохождения в ФАУ «Главгосэкспертиза России» в части расчетного обоснования проектов стадионов. Успешному прохождению экспертизы предшествует большая предварительная работа, в том числе, со смежниками-«альтернативщиками» по достижению приемлемого соответствия основных результатов расчетов, предоставление развернутых ответов на замечания и предложения штатных и приглашенных экспертов, которые, в ряде случаев могут потребовать серьезных дополнительных исследований.

Эти и ряд других проблем численного моделирования требуют углубленных математических исследований, разработки эффектив-

ных методик решения указанных научноемких задач строительства.

В связи с вышеизложенным, целью дальнейшего исследования является разработка, верификация и апробация эффективной методики численного моделирования, нагрузок и воздействий при максимально адекватном отражении конструктивных особенностей и напряженно деформированного состояния систем «основание – железобетонные конструкции фундаментов и трибун – металлоконструкции покрытия и фасадов». При этом ставится задача обоснования возможности независимой работы конструкторов и расчетчиков, разрабатывающих разные разделы проекта (железобетонные конструкции фундаментов и трибун, металлоконструкции покрытия и фасадов).

Описание разрабатываемой методики и результаты её верификации и апробации на реальных объектах будут изложены в следующих статьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белостоцкий А.М.** Модернизация и применение численных методов к расчету плитно-оболочечных систем на статические и динамические воздействия. // В кн. «Динамические характеристики и колебания элементов энергетического оборудования». – М., Наука, 1980, с. 11-58.
2. **Белостоцкий А.М.** Построение эффективных пространственных моделей для статического и динамического расчета систем «сооружение – основание». // Труды ЦНИИСК им. Кучеренко, 1990, с. 175-180.
3. **Белостоцкий А.М., Белый М.В.** Суперэлементные алгоритмы решения пространственных нелинейных статических и динамических задач большой размерности. Реализация в программном комплексе СТАДИО и опыт расчетных исследований. // Труды XVIII Международной конференции ВЕМ&FEM-2000, Санкт-Петербург, 2000, с.65-69.
4. **Белостоцкий А.М.** Прогнозное математическое моделирование состояния и техногенной безопасности ответственных объектов и комплексов мегаполиса. // Вестник МГСУ, №3, 2006, с. 20-61.
5. **Dougill J.W., Blakeborough A., Cooper P.** Dynamic Performance Requirements for Permanent Grandstands Subject to Crowd Action. London. The Institution of Structural Engineers, 2001, pages.
6. **Holmes J.D., Denoon R.O., Kwok K.C.S., Glanville M.J.** Wind Loading and Response of Large Stadium Roofs. // IASS International Symposium on Shell & Spatial Structures, Singapore, 1997,
7. **Flaga A., Kimbar G., Matys P.** A New Approach to Wind Tunnel Similarity Criteria for Snow Load Prediction With an Exemplary Application of Football Stadium Roof. // EACWE 5 Florence, Italy, July 2009.
8. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: ФГУП ЦПП, 2011.
9. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М.: Минрегион России, 2011.
10. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями №1,2) – М.: ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП, 2012.
11. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* – М.: ФГУП ЦПП, 2016.
12. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированная редакция СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с Изменением №1) – М.: ФГУП ЦПП, 2014.

REFERENCES

1. **Belostotsky A.M.** Modernizatsiya i Primeneniye Chislennykh Metodov k Raschetu Plitno-Obolochchnykh Sistem na Staticheskiye i Dinamicheskiye Voz-deystviya [Modernization and Application of Numerical Methods to the Analysis of Plate-Shell Systems for Static and Dynamic Impacts]. // "Dinamicheskiye kharakteristiki i kolebaniya elementov energeticheskogo oborudovaniya", Moscow, Nauka, 1980, pp. 11-58.
2. **Belostotsky A.M.** Postroyeniye Effektivnykh Prostranstvennykh Modeley Dlya Sticheskogo i Dinamicheskogo Rascheta Sistem "Sooruzheniye – Osnovaniye" [Development of Effective Spatial Models for Static and Dynamic Analysis of "Structure – Foundation" Systems]. // Trudy TsNIISK im. Kucherenko, 1990, pp. 175-180.
3. **Belostotsky A.M., Belyi M.V.** Superelementnyye Algoritmy Resheniya Prostranstvennykh Nelineynykh Sticheskikh i Dinamicheskikh Zadach Bolshoy Razmernosti. Realizatsiya v Programmnom Komplekse STADIO i Opyt Raschetnykh Issledovaniy [Superelement Algorithms for Solving Spatial Nonlinear Static and Dynamic Problems of Large Dimension. Implementation in the STADIO Software Package and Experience in Computational Research]. // Trudy XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii BEM&FEM-2000, Sankt-Peterburg, 2000, pp. 65-69.
4. **Belostotsky A.M.** Prognoznoye Matematicheskoye Modelirovaniye Sostoyaniya i Tekhnogennoy Bezopasnosti Otvetstvennykh Obyektov i Kompleksov Megapolisa [Predictive Mathematical Modeling of the State and Technological Safety of Responsible Objects and Complexes of a Megacity]. // Vestnik MGSU, No. 3, 2006, pp. 20-61.
5. **Dougill J.W., Blakeborough A., Cooper P.** Dynamic Performance Requirements for Permanent Grandstands Subject to Crowd Action. London. The Institution of Structural Engineers, 2001, pages.
6. **Holmes J.D., Denoon R.O., Kwok K.C.S., Glanville M.J.** Wind Loading and Response of Large Stadium Roofs. // IASS International Symposium on Shell & Spatial Structures, Singapore, 1997,
7. **Flaga A., Kimbar G., Matys P.** A New Approach to Wind Tunnel Similarity Criteria for Snow Load Prediction With an Exemplary Application of Football Stadium Roof. // EACWE 5 Florence, Italy, July 2009.
8. SP 20.13330.2011 Nagruzki i Vozdeystviya. Aktualizirovannaya Redaktsiya SNiP 2.01.07-85* [Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85*]. Moscow, FGUP TsPP, 2011.
9. SP 16.13330.2011. Stalnyye Konstruktsii. Aktualizirovannaya Redaktsiya SNiP II-23-81* [Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81 *]. Moscow, Minregion Rossii, 2011.
10. SP 63.13330.2012 Betonnyye i Zhelezobetonnyye Konstruktsii. Osnovnyye Polozheniya. Aktualizirovannaya Redaktsiya SNiP 52-01-2003 (s Izmeneniyami No. 1, 2) [Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions. Updated Version of SNiP 52-01-2003 (with Modifications No. 1,2)]. Moscow, GUP «NIIZhB», FGUP TsPP, 2012.
11. SP 22.13330.2016 Osnovaniya Zdaniy i Sooruzheniy. Aktualizirovannaya Redaktsiya SNiP 2.02.01-83* [Foundations of Buildings and Structures. Updated Version of SNiP 2.02.01-83*]. Moscow, FGUP TsPP, 2016.
12. SP 14.13330.2014 Stroitelstvo v Seismicheskikh Rayonakh SNiP II-7-81* (Aktualizirovannaya Redaktsiya SNiP II-7-81* "Stroitelstvo v seismicheskikh rayo-nakh" (SP 14.13330.2011)) (s Izmeneniyem №1) [Construction in Seismic Regions SNiP II-7-81 * (Updated Version SNiP II-7-81* "Construction in Seismic Regions" (SP

Обоснование механической безопасности стадионов к Чемпионату мира по футболу 2018 года в России.
Постановка задач расчетных исследований

14.13330.2011)) (with Modification No.
1)]. Moscow, FGUP TsPP, 2014.

Белостоцкий Александр Михайлович, член-корреспондент РААСН, профессор, доктор технических наук; генеральный директор ЗАО «Научно-исследовательский центр СтаДиО»; профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» Российского университета транспорта (МИИТ); профессор Департамента архитектуры и строительства Российского университета дружбы народов; профессор кафедры строительных конструкций и вычислительной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета; 125040, Москва, ул. 3-я Ямского Поля, д.18, офис 810; тел. +7 (499) 706-88-10; e-mail: amb@stadyo.ru.

Нагибович Александр Игоревич, ведущий инженер-расчетчик ЗАО «Научно-исследовательский центр СтаДиО»; аспирант кафедры прикладной математики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 125040, Москва, ул. 3-я Ямского Поля, д.18, офис 810; тел. +7 (499) 706-88-10; e-mail: nagibovich@yandex.ru

Alexander M. Belostotsky, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Dr.Sc.; Director of Scientific Research Center “StaDyO”; Professor of Department of Structures, Buildings and Facilities, Russian University of Transport» (RUT – MIIT); Professor of Department of Architecture and Construction, Peoples’ Friendship University; Professor of Department of Building Structures and Computational Mechanics, Peoples’ Friendship University of Russia; office 810, 18, 3ya Ulitsa Yamskogo Polya, Moscow, 125040, Russia; phone +7 (499) 706-88-10;
E-mail: amb@stadyo.ru.

Alexander I. Nagibovich, Senior Engineer of Scientific Research Center “StaDyO”; PhD Student, Department of Applied Mathematics, National Research Moscow State University of Civil Engineering; office 810, 18, 3ya Ulitsa Yamskogo Polya, Moscow, 125040, Russia;
phone +7 (499) 706-88-10;
E-mail: nagibovich@yandex.ru