

DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-3-17-26

*Стрелков Ю.М., инженер,  
Сабитов Л.С., доктор технических наук, доцент,  
Казанский государственный энергетический университет, Россия,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия,  
Клюев С.В.\*, кандидат технических наук, доцент,  
Клюев А.В., кандидат технических наук, доцент,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,  
Радайкин О.В., кандидат технических наук, доцент,  
Токарева Л.А., научный сотрудник,  
Казанский государственный энергетический университет, Россия,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия*  
\*Ответственный автор E-mail: Klyuyev@yandex.ru

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СБОРНО-РАЗБОРНОГО ФУНДАМЕНТА ПОД БАШЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

**Аннотация:** в статье предложен новый тип модульного сборно-разборного железобетонного фундамента под конструкции сооружений башенного типа. Приведено численное моделирование и конструктивные особенности изготовления и монтажа фундамента, реализованного по патенту 2633604 «Сборно-разборный фундамент под опору» под реальную башню высотой 30 метров и мощностью ветроэлектрической установки 150 кВт. Снижение материалоемкости достигается за счёт образования полости в каждом типовом модуле и заполнения её грунтом или любым инертным материалом. Результат предлагаемого решения заключается в повышении несущей способности фундамента в целом, увеличении прочности и жесткости его основных соединений, а также упрощении монтажа в сопоставлении с традиционными подходами к конструированию. Причем модули фундамента, где возникают максимальные напряжения могут быть изготовлены из фибробетона.

**Ключевые слова:** фундамент, железобетон, фибробетон, модульность, оптимизация, конструкции, башня

### Введение

Фундамент балластного типа для башенных сооружений является основным конструктивным элементом, который воспринимает все нагрузки от вышележащих конструкций и распределяет их по основанию [1-5]. Также сборно-разборные фундаменты позволяют быстро и эффективно устанавливать башенные конструкции в сложных условиях городской застройки на специфических грунтовых условиях, когда разработка оснований грунтов под опору невозможна. Себестоимость его изготовления в структуре общей стоимости башенных сооружений достигает более 50%. В соответствии с этим поиск оптимального конструктивного решения фундамента для башенных сооружений является актуальным [6-15].

### Методы и материалы

Получение конструкции сборно-разборного фундамента основывается на следующих принципах:

1. Сборка фундамента на строительной площадке из отдельных типовых модулей, изготавливаемых в заводских условиях;
2. Снижение материалоемкости за счёт образования полости в каждом модуле и заполнения её грунтом;
3. Распределение массы фундамента в плане в соответствии с действием максимальных усилий
4. Снижение трудозатрат на этапе изготовления на заводе или полигоне за счёт использования высокопроизводительных машин и механизмов без трудоемких ручных операций;
5. Снижение трудозатрат на этапе монтажа без участия специальных грузоподъемных механизмов [12].

### Результаты и обсуждения

Конструктивная схема сооружения, представляет собой сборный железобетонный фундамент, состоящий из полых призматических блоков, стянутых между собой болтами. Размеры сооружения в плане составляют 15,274 x 13,758 м., высота фундаментной плиты – 1 м., толщины стенок сборных блоков – 150 мм., толщины стенок сборных блоков – 150 мм [3, 10, 11]

В центральных блоках присутствуют отверстия для крепления мачты к фундаменту, во всех блоках имеется 4 отверстия для стягивания отдельных блоков между собой болтами. В качестве материала конструкций использовать бетон класса В25, арматура А500, А240.

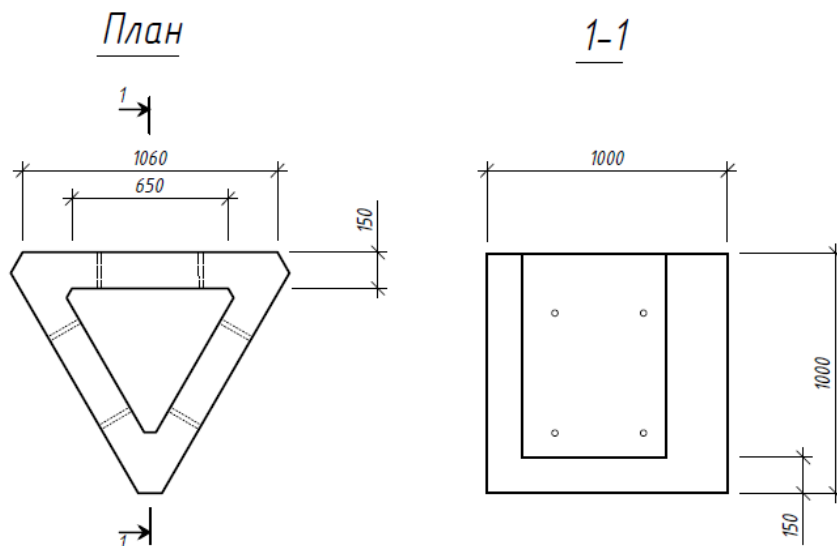


Рис. 1. План, разрез и армирование отдельного модуля  
Fig. 1. Plan, section and reinforcement of a separate module

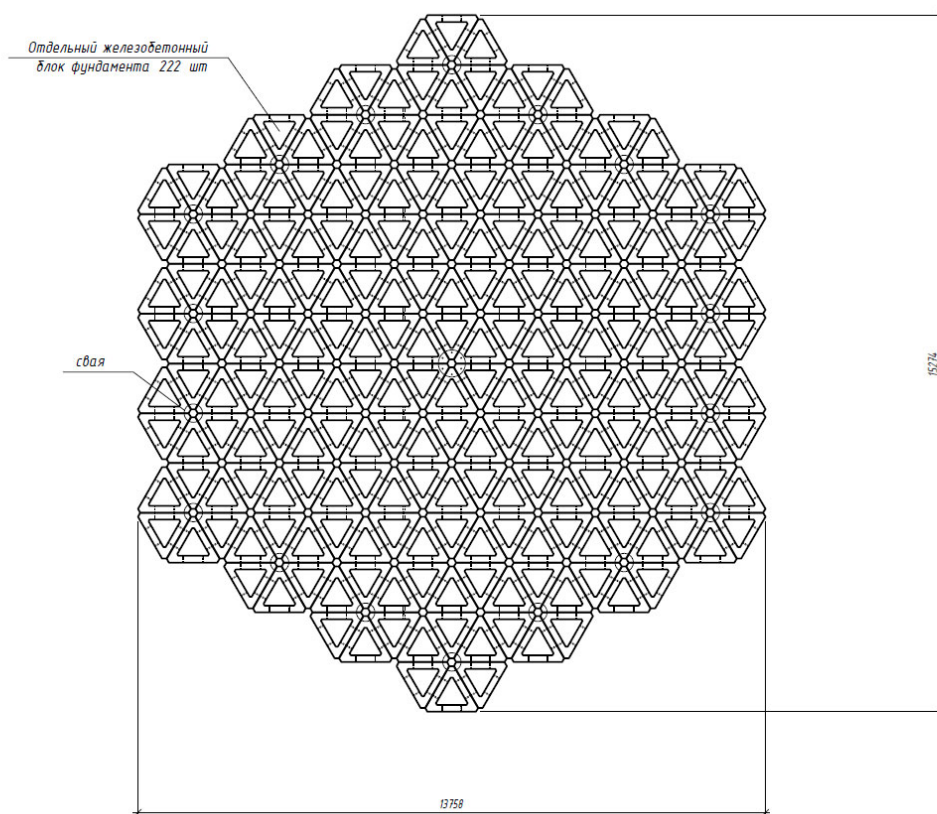


Рис. 2. План фундамента из модулей под башенное сооружение  
Fig. 2. The plan of the foundation of the modules for the tower structure

Нагрузки на фундамент передаются от мачты в центральную часть фундамента, которая жёстко закреплена с шестью сборными железобетонными блоками. На мачту действуют нагрузки от ветра, которые усилиями передаются на основание мачты. Вертикальная нагрузка составляет 974 т., горизонтальное усилие, возникающее от действия ветра на всю длину мачты, равняется 48 т. На поверхность фундамента действует нагрузка от вышележащего грунта толщиной 1 м., на боковую поверхность фундамента действует давление грунта.

Расчет фундамента был произведен с использованием программного комплекса «Ли́ра», в котором реализован метод конечных элементов – как наиболее эффективный численный метод решения задач механики. Результатом моделирования стала пространственная несущая система фундамента, представленная на рис. 3. Фундаментная плита, моделировалась в виде пластинчатых 3-х угольных элементов. Основание здания задано в системе «ЛИРА-ГРУНТ»; для того, чтобы ограничить горизонтальные перемещения сооружения использованы специальные одноузловые конечные элементы, моделирующие трение грунта.

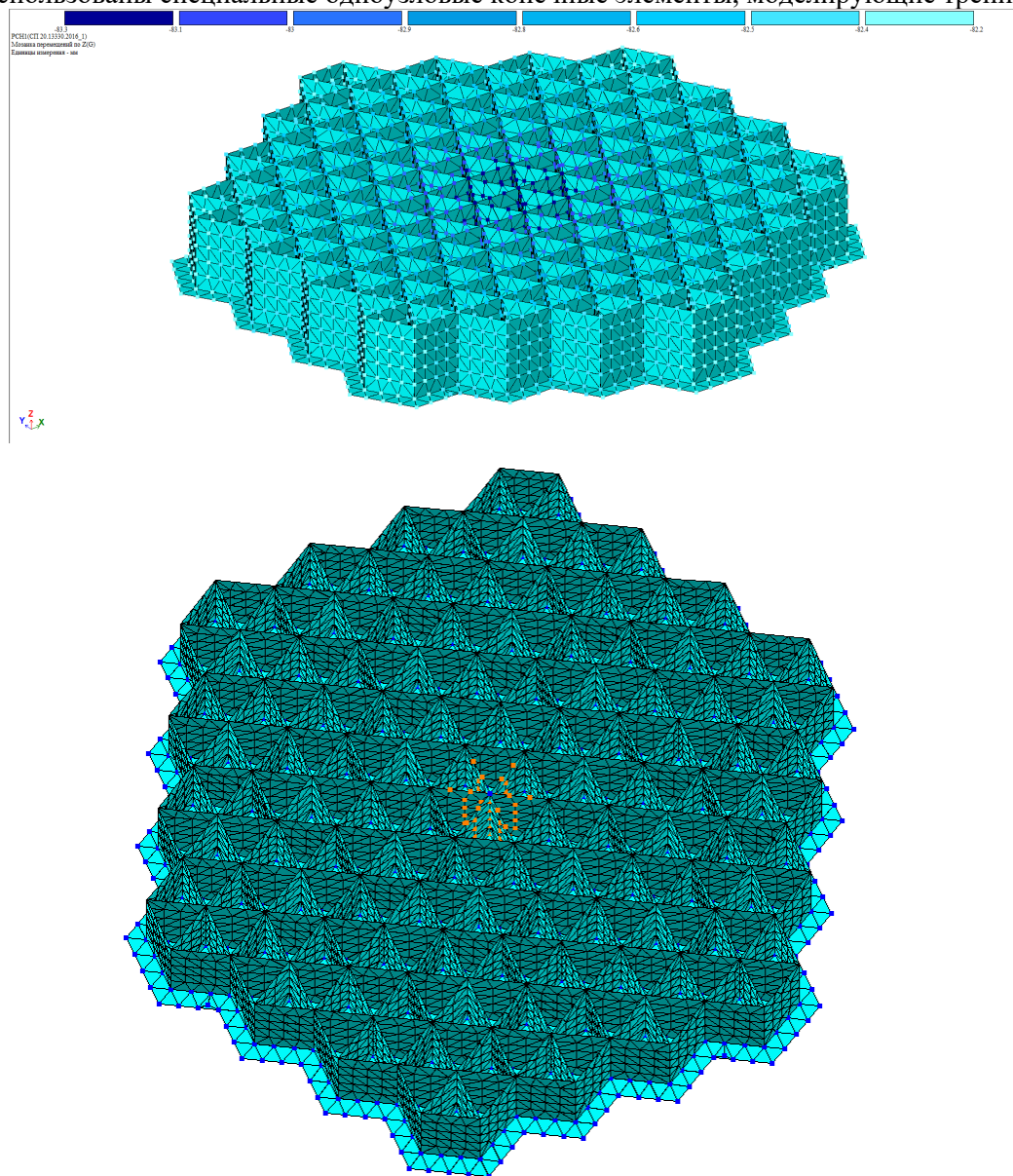


Рис. 3. Конечно-элементная схема расчётной модели фундамента из модульных элементов  
Fig. 3. Finite element scheme of the calculation model of the foundation of modular elements

По результатам расчёта максимальное значение вероятной осадки плитного фундамента, полученное в программном комплексе при основном сочетании расчетных нагрузок составило:

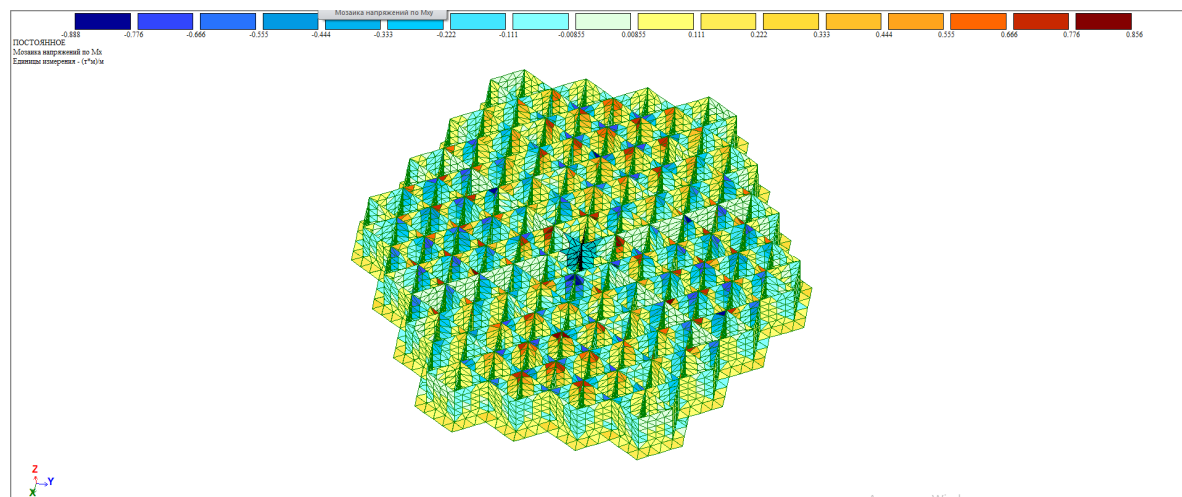
$$S_{max} = 83,3 \text{ мм} < [S] = 200 \text{ мм.}$$

Таким образом, максимальное значение вероятных деформаций, полученных в программном комплексе, также не превышает значения предельных деформаций основания.

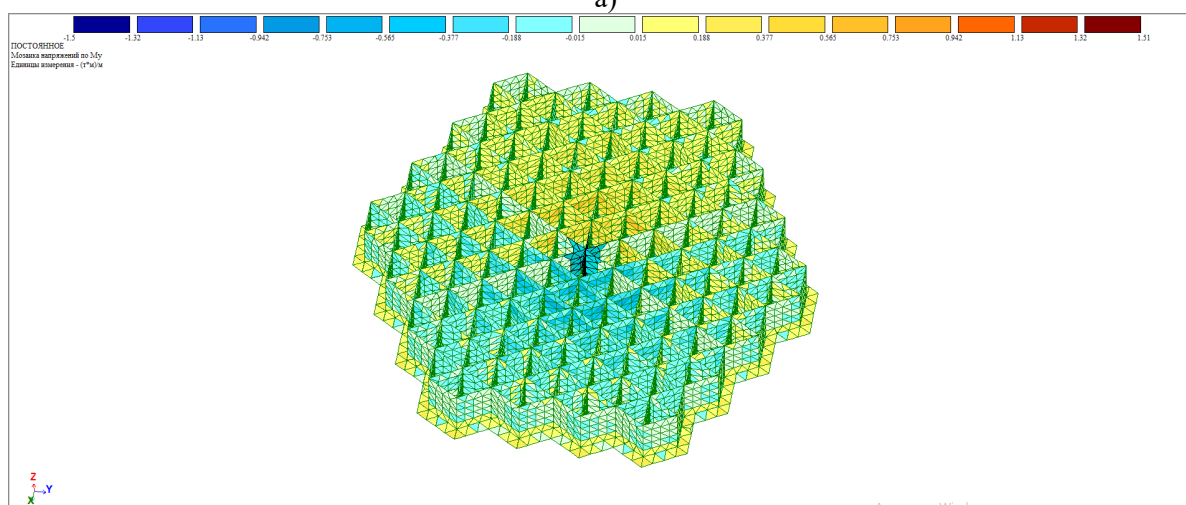


Рис. 4. Усилия в сваях: а – возникающие в сваях по оси X; б – возникающие в сваях по оси Y; в – возникающие на концах сваях

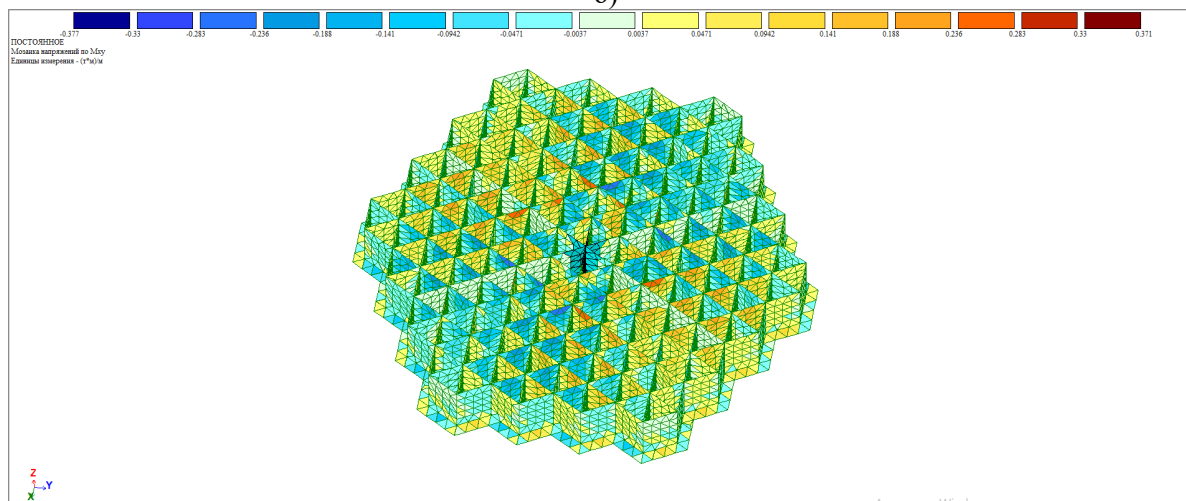
Fig. 4. Forces in piles: a – arising in piles along the X axis; b – arising in piles along the Y axis; c – arising at the ends of piles



а)



б)



в)

Рис. 5. Изополюса изгибающих моментов: а – по оси X; б – по оси Y; в – в плоскости XY  
Fig. 5. Isofields of bending moments: a – on the X axis; b – on the Y axis; c – in the XY plane

Ниже представлены результаты подбора армирования фундаментной плиты исходя из расчётов по прочности нормальных сечений и их трещиностойкости.

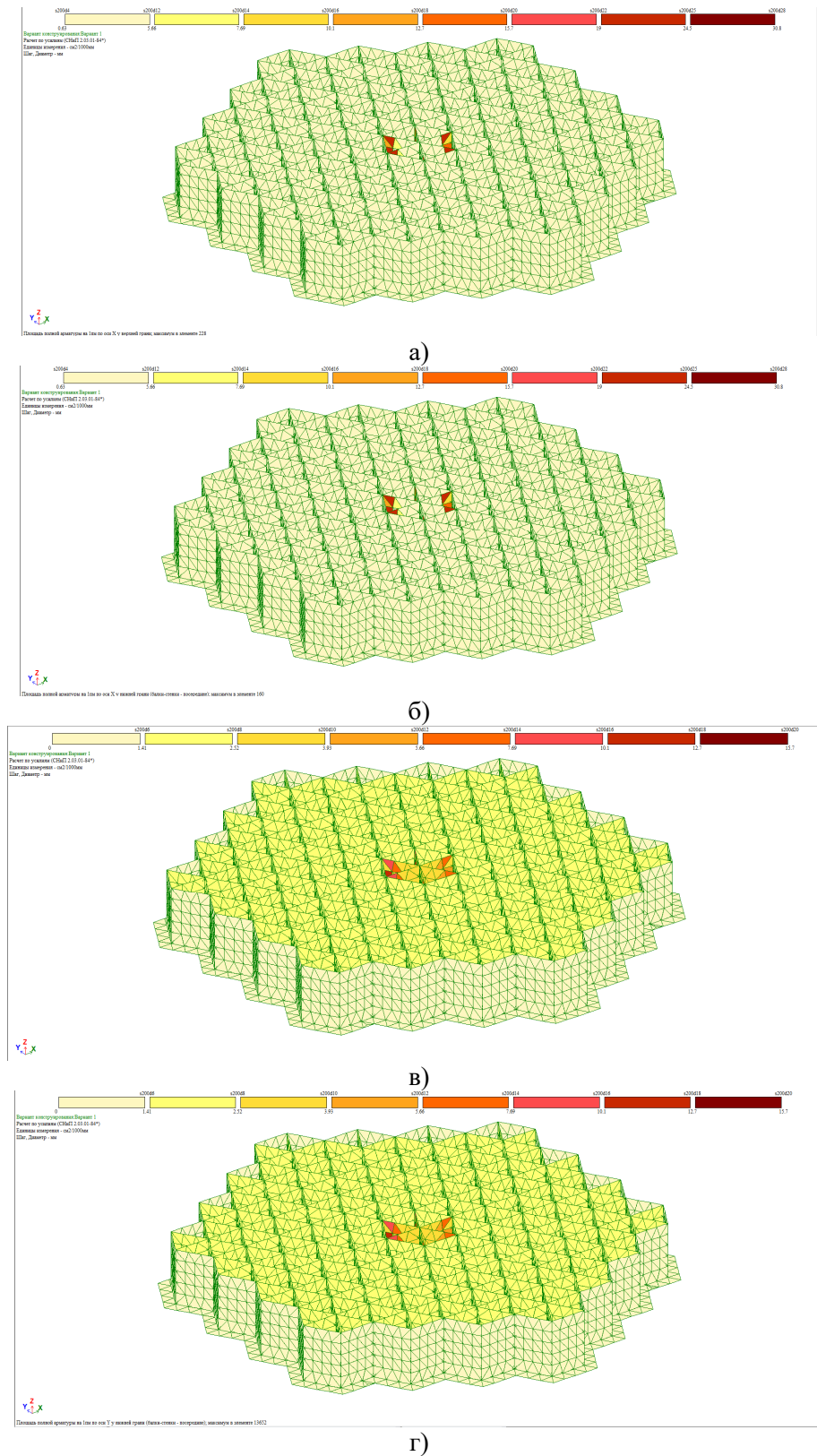


Рис. 6. Изополя требуемой площади арматуры на 1 погонный метр: а – по оси X у верхней грани; б – по оси X у нижней грани; в – по оси Y у верхней грани; г – по оси Y у нижней грани  
Fig. 6. Isofields of the required reinforcement area per 1 linear meter: а – along the X axis at the upper edge; б – along the X axis at the lower edge; в – along the Y axis at the upper edge; г – along the Y axis at the lower edge

На рис. 7 представлены конструктивно-технологические особенности изготовления фундамента балластного типа для конструкции башенных сооружений. Предлагаемое техническое решение позволяет возводить временные сооружения ветроэлектрических установок, которые можно перебазировать с места на место. Также данные сооружения возможно применять в условиях Крайнего Севера и Арктических зон.

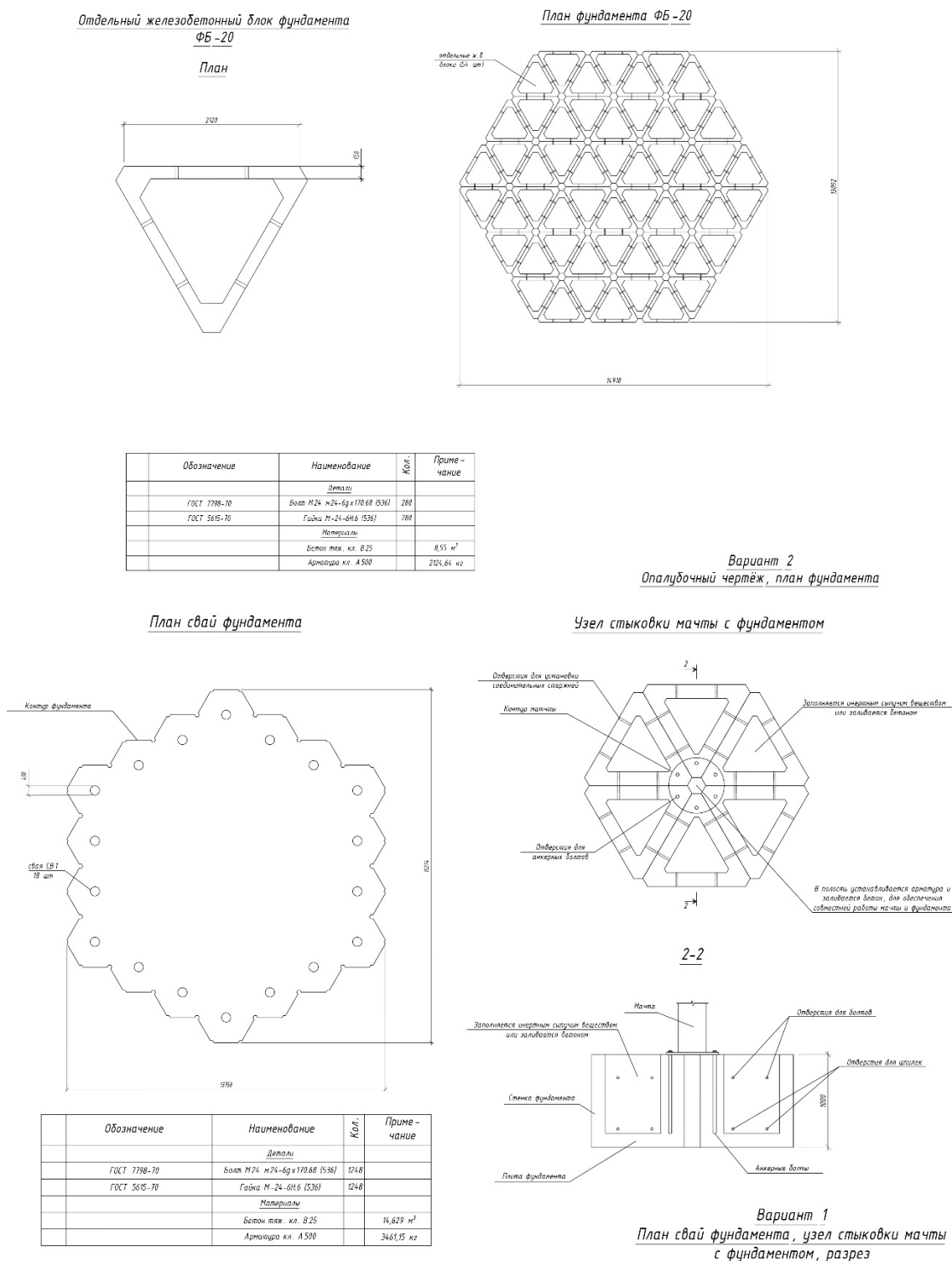


Рис. 7. Технологические особенности конструирования фундамента балластного типа под башенные сооружения

Fig. 7. Technological features of the construction of a ballast-type foundation for tower structures

### Выводы

В статье была предложена схема сборно-разборного фундамента под стальную опору для различного типа башенных сооружений. Приведено численное моделирование и конструктивные особенности изготовления и монтажа фундамента, реализованного по патенту 2633604 «Сборно-разборный фундамент под опору» под реальную башню высотой 30 метров и мощностью ветроэлектрической установки 150 кВт. Результат состоит в том, чтобы повысить несущую способность фундамента на 20%, увеличить прочность, упростить монтаж конструкции.

### Литература

1. Morozov V.I., Pukharenko Yu.V., Yushin A.V. The numerical investigations of double-span concrete beams strengthened with fiber reinforced plastics across the oblique section // *Materials Physics and Mechanics*. 2017. Т. 31. № 1-2. P. 40 – 43.
2. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Experimental studies on High Strength Concrete by Using Recycled Coarse aggregate // *Research Inventy: International Journal of Engineering and Science*. 2014. Vol. 4. № 1. P. 27 – 36.
3. Brouwers H.J.H., Radix H.J. Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study // *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. P. 2116 – 2136.
4. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Бадретдинов И.Р., Радайкин О.В. Исследование совместной работы стальной стойки-опоры и сборного железобетонного фундамента экспериментальным методом и с применением математического МКЭ-моделирования // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 6 (71). С. 37 – 44.
5. Маилян Л.Р. Иващенко Е.И. Действительные диаграммы деформирования бетона при сжатии и экспериментальные и теоретические способы их построения // *Вестник РГСУ*. 2006. № 4. С. 128 – 132.
6. Маилян Л.Р., Налимова А.В., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства // *Инженерный вестник Дона*. 2011. № 4 (18). С. 573 – 580.
7. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Сабитов Л.С. Экспериментальные исследования эффективности дисперсного армирования растянутой зоны бетонных изгибаемых элементов // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2010. №1 (17). С. 199 – 125.
8. Klyuev S., Sevostyanov V., Sevostyanov M., Ageeva M., Fomina E., Klyuev A., Protsenko A., Goryagin P., Babukov V., Shamgulov R., Fediuk R., Sabitov L. Improvement of technical means for recycling of technogenic waste to construction fiber // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Т. 16. С. e01071.
9. Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Компьютерное моделирование системы «Комбинированная башня – железобетонный фундамент – грунт основания» ветроэлектрической установки для оценки ее эффективности // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2020. № 1 (78). С. 345 – 355.
10. Маилян Л.Р., Зубрицкий М.А., Ушаков О.Ю., Сабитов Л.С. Расчет высотных сооружений при сейсмическом воздействии уровня «контрольное землетрясение» нелинейным статическим методом на примере адыгейской ВЭС // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Т. 3. № 1. С. 14 – 20.
11. Маилян Л.Р., Языев С.Б., Сабитов Л.С., Коноплёв Ю.Г., Радайкин О.В. Напряженно-деформированное состояние системы «комбинированная башня – железобетонный фундамент – грунт основания» высотных сооружений // *Строительные материалы и изделия*. 2019. Т. 2. № 6. С. 29 – 37.
12. Ахтямова Л.Ш., Сабитов Л.С., Маилян А.Л., Маилян Л.Р., Радайкин О.В. Технологические и конструктивные особенности проектирования модульного железобетонного фундамента под высотное сооружение различного типа // *Строительные материалы и изделия*. 2019. Т. 2. № 6. С. 5 – 11.
13. Стрелков Ю.М., Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Сравнительный анализ статической работы различных типов стальных опор линий электропередач на основе компьютерного моделирования системы «опора – фундамент – грунт основания» // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2019. № 1 (282). С. 71 – 79.
14. Makhmud Kharun, Sergey Klyuev, Dmitry Koroteev, Paschal C. Chiadighikaobi, Roman Fediuk, Andrej Olisov, Nikolai Vatin and Nataliya Alfimova Heat treatment of basalt fiber reinforced expanded clay concrete with increased strength for cast-in-situ construction // *Fibers*. 2020. № 8. P. 0067.
15. Amran M., Fediuk R., Vatin N., Mohammad Ali Mosaberpanah, Aamar Danish, Mohamed El-Zeadani 5, S.V. Klyuev., Nikolai Vatin Fibre-reinforced foamed concretes: A review // *Materials*. 2020. № 13 (19). P. 4323.

### References

1. Morozov V.I., Pukharenko Yu.V., Yushin A.V. The numerical investigations of double-span concrete beams strengthened with fiber reinforced plastics across the oblique section. *Materials Physics and Mechanics*. 2017. 31 (1-2). P. 40 – 43.
2. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Experimental studies on High Strength Concrete by Using Recycled Coarse aggregate. *Research Inventy: International Journal of Engineering and Science*. 2014. 4 (1). P. 27 – 36.
3. Brouwers H.J.H., Radix H.J. Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study. *Cement and Concrete Research*. 2005. 35. P. 2116 – 2136.
4. Sabitov L.S., Kuznetsov I.L., Badretdinov I.R., Radaykin O.V. Investigation of the joint work of a steel support pillar and a precast reinforced concrete foundation by experimental method and using mathematical FEM modeling. *Bulletin of Civil Engineers*. 2018. 6 (71). P. 37 – 44. (rus.)
5. Mailyan L.R., Ivashchenko E.I. Dejstvitel'nye diagrammy deformirovaniya betona pri szhatii i eksperimental'nye i teoreticheskie sposoby ih postroeniya. *Vestnik RGSU*. 2006. 4. P. 128 – 132. (rus.)
6. Mailyan L.R., Ivashchenko E.I. Actual diagrams of concrete deformation under compression and experimental and theoretical methods of their construction. *Bulletin of the RSSU*. 2011. 4 (18). P. 573 – 580. (rus.)
7. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.H., Sabitov L.S. Experimental studies of the effectiveness of dispersed reinforcement of a stretched zone of concrete bendable elements. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2010. 1 (17). P. 199 – 125. (rus.)
8. Klyuev S., Sevostyanov V., Sevostyanov M., Ageeva M., Fomina E., Klyuev A., Protsenko A., Goryagin P., Babukov V., Shamgulov R., Fediuk R., Sabitov L. Improvement of technical means for recycling of technogenic waste to construction fiber. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. 16. P. e01071.
9. Sabitov L.S., Konoplev Yu.G., Radaykin O.V. Computer modeling of the system "Combined tower – reinforced concrete foundation – foundation soil" of a wind power plant to assess its effectiveness. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2020. 1 (78). P. 345 – 355. (rus.)
10. Mailyan L.R., Zubritskiy M.A., Ushakov O.Yu., Sabitov L.S. Calculation of high-rise structures under the seismic impact of the "control earthquake" level by a nonlinear static method on the example of the Adygea wind farm. *Construction materials and products*. 2020. 3 (1). P. 14 – 20. (rus.)
11. Mailyan L.R., Yaziev S.B., Sabitov L.S., Konoplev Yu.G., Radaykin O.V. Stress-strain state of the system "combined tower – reinforced concrete foundation – foundation soil" of high-rise structures. *Construction materials and products*. 2019. 2 (6). P. 29 – 37. (rus.)
12. Akhtyamova L.Sh., Sabitov L.S., Mailyan A.L., Mailyan L.R., Radaykin O.V. Technological and design features of designing a modular reinforced concrete foundation for a high-rise structure of various types. *Construction materials and products*. 2019. 2 (6). P. 5 – 11. (rus.)
13. Strelkov Yu.M., Radaykin O.V., Sabitov L.S., Kuznetsov I.L. Comparative analysis of static operation of various types of steel poles of power lines based on computer modeling of the system "support – foundation – foundation soil". *Construction mechanics and calculation of structures*. 2019. 1 (282). P. 71 – 79. (rus.)
14. Makhmud Kharun, Sergey Klyuev, Dmitry Koroteev, Paschal C. Chiadighikaobi, Roman Fediuk, Andrej Olisov, Nikolai Vatin and Nataliya Alfimova Heat treatment of basalt fiber reinforced expanded clay concrete with increased strength for cast-in-situ construction. *Fibers*. 2020. 8. P. 0067.
15. Amran M., Fediuk R., Vatin N., Mohammad Ali Mosaberpanah, Aamar Danish, Mohamed El-Zeadani 5, S.V. Klyuev., Nikolai Vatin Fibre-reinforced foamed concretes: A review. *Materials*. 2020. 13 (19). P. 4323.

**Strelkov Yu.M., Engineer,  
Sabitov L.S., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Associate Professor,  
Kazan State Power Engineering University, Russia,  
Kazan (Volga Region) Federal University, Russia,  
Klyuev S.V. \*, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Klyuev A.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,  
Radaykin O.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Tokareva L.A., Research Officer,  
Kazan State Power Engineering University, Russia,  
Kazan (Volga Region) Federal University, Russia**  
\*Corresponding author E-mail: Klyuyev@yandex.ru

## TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF A DEMOUNTABLE FOUNDATION FOR TOWER STRUCTURES

**Abstract:** the paper proposes a new type of modular demountable reinforced concrete foundation for the construction of tower-type structures. Numerical modeling and design features of the manufacture and installation of the foundation, implemented under patent 2633604 “Demountable foundation for support” for a real tower with a height of 30 meters and a power of a 150 kV wind power plant, are given. The reduction of material consumption is achieved due to the formation of a cavity in each typical module and filling it with soil or any inert material. The result of the proposed solution is to increase the bearing capacity of the foundation as a whole, increase the strength and rigidity of its main joints, as well as simplify installation in comparison with traditional approaches to design. Moreover, the foundation modules, where maximum stresses occur, can be made of fibre concrete.

**Keywords:** foundation, reinforced concrete, fibre concrete, modularity, optimization, structures, tower

**Для цитирования:** Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Ключев С.В., Ключев А.В., Радайкин О.В., Токарева Л.А. Технологические особенности конструирования сборно-разборного фундамента под башенные сооружения // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. № 3. С. 17 – 26. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-3-17-26

**For citation:** Strelkov Yu.M., Sabitov L.S., Klyuev S.V., Klyuev A.V., Radaykin O.V., Tokareva L.A. Technological features of the construction of a demountable foundation for tower structures. Construction Materials and Products. 2022. 5 (3). P. 17 – 26. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-3-17-26

Поступила в редакцию 1 марта 2022 г.  
Принята в доработанном виде 19 апреля 2022 г.  
Одобрена для публикации 22 мая 2022 г.

Received: March 1, 2022.  
Revised: April 19, 2022.  
Accepted: May 22, 2022