

УДК 624.019; 624.072

Кузнецов Иван Леонидович

доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Хусаинов Дамир Миннигалеевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: xdmt@mail.ru

Хабибулина Альбина Гомеровна

кандидат экономических наук, доцент

E-mail: albgomer@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Пеньковцев Сергей Александрович

кандидат технических наук, ведущий инженер

E-mail: restavratsija@mail.ru

ООО «Инженерный центр «Энергопрогресс»

Адрес организации: 420044, Россия, г. Казань, ул. Волгоградская, д. 34

Разработка сборно-разборного фундамента балластного типа для стоечных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. Разработка фундаментов для стоечных конструкций, отвечающих современным критериям по демонтажу и возможности использования в условиях ограничений.

Результат. Предложена расчетная модель конструкции сборно-разборного фундамента балластного типа под опоры воздушных линий, сотовой связи, светосигнального оборудования, антенн и т.п. Расчет модели производился в программном комплексе «Лира-САПР». Расчетная схема предлагаемой конструкции представляет собой пространственную конечно-элементную модель «фундамент – грунтовое основание». Проведенные исследования показали существенное влияние фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов на их несущую способность. Значительное влияние также оказывает расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом. Полученные численные результаты позволили определить в указанном диапазоне расчетных нагрузок необходимые для их восприятия конструктивные параметры фундамента: количество, размеры и армирование ячеек, вид засыпки полостей ячеек.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в целесообразности применения разработанного сборно-разборного фундамента балластного типа, исходя из требований вводимых новых стандартов для стоечных конструкций. Обеспечивается нормативная несущая способность и необходимая деформативность рассматриваемых фундаментов от действия расчетных моментов.

Ключевые слова: сборно-разборный фундамент, стоечные конструкции, фундамент балластного типа.

Введение

Стойные конструкции, в последние десятилетия, активно используются для установки светосигнального оборудования, опор сотовой связи, антенн, рекламных щитов и т.п. [1, 2]. Авторы продолжают исследования по моделированию сборно-разборных фундаментов балластного типа, для вышеуказанных конструкций, отвечающих современным критериям по демонтажу и возможности использования в условиях ограничений*.

*Хусаинов Д.М., Пеньковцев С.А., Хабибулина А.Г. Разработка фундаментов балластного типа для стоечных конструкций // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С. 204–213.

Для стоечных конструкций распространены фундаменты, устанавливаемые в открытом котловане, и выполненные в виде монолитной или сборной железобетонной плиты с анкерными болтами для закрепления основания опоры. Недостатком таких фундаментов являются большие транспортные габариты, что затрудняет транспортирование и монтаж [3].

На сегодняшний день существует ряд конструктивных решений сборно-разборных фундаментов под опору [4-6]. Наиболее близким к предложенной расчетной модели является сборно-разборный фундамент под стоечную конструкцию, включающий отдельные железобетонные блоки в виде полых призм совместно с основанием, стянутых между собой болтами. При этом часть блоков снабжена анкерными устройствами для крепления опоры [5]. Недостатком такого решения является сложность крепления полых призм между собой, связанная с множеством болтовых соединений, а также сложность крепления анкерных устройств к опоре.

В данной статье авторами рассматривается новое конструктивное решение сборно-разборного фундамента балластного типа, на которое был получен патент на изобретение [7]. Предложенная конструкция фундамента обладает повышенной легкостью монтажа и демонтажа, возможностью изменения размеров в зависимости от величин воспринимаемых расчетных нагрузок.

Расчетная модель фундамента

Расчет модели производился в программном комплексе «Лири-САПР». На основании предыдущего опыта исследований расчетная схема предлагаемой конструкции представляет собой пространственную конечно-элементную модель «фундамент – грунтовое основание» [8-10].

Расчет моделей выполнен в физически нелинейной постановке. В качестве основных варьируемых параметров приняты следующие значения:

- значение изгибающего момента M (3 тм, 5 тм и 7,5 тм);
- плотность засыпки (1000 кг/м^3 , 1300 кг/м^3 и 1600 кг/м^3);
- продольная сила от веса опоры $N = 1 \text{ т}$;
- расчетное сопротивление грунта отрыву R_1 ($0,05 \text{ т/м}^2$, $0,15 \text{ т/м}^2$, $0,30 \text{ т/м}^2$);
- расчетное сопротивление грунта сжатию R_c (5 т/м^2 , 15 т/м^2 , 30 т/м^2).

Основные результаты расчета для фундамента с размером подошвы $3 \times 3 \text{ м}$ представлены в таблице.

Представленные в таблице значения напряжений в грунте R_1 и R_2 показывают отсутствие (знак минус) отрыва подошвы фундамента от грунта основания.

Таблица

Основные результаты расчета

№ п/п	Величина момента M , тм	Плотность засыпки ρ , т/м ³	Расчетн. сопр. грунта отрыву R_1 , т/м ²	Расчетн. сопр. грунта сжатию R_c , т/м ²	Результаты								Примечание
					Напряжения в грунте, т/м ²			Перемещение, мм			Среднее напр-я в бетоне, т/м ²		
					R_1	R_2	a , мм	dz_2	dz_1	x	N_1	N_3	
1	3	1	0,05	5	-1,6	-0,24	650	-40	-75	-3	282	-650	Разрушение грунта Отрыв
2	3	1	0,07	5	-1,6	-0,24	650	-41	-76	-3	282	-650	Разрушение грунта Отрыв
3	3	1	1	5	-1,6	-0,24	620	-41	-77	-3	224	-480	Разрушение грунта Отрыв
4	3	1	1	15	-4,55	-0,22	360	-2,5	-6,1	-1	284	-648	Требуется армирование Отрыв

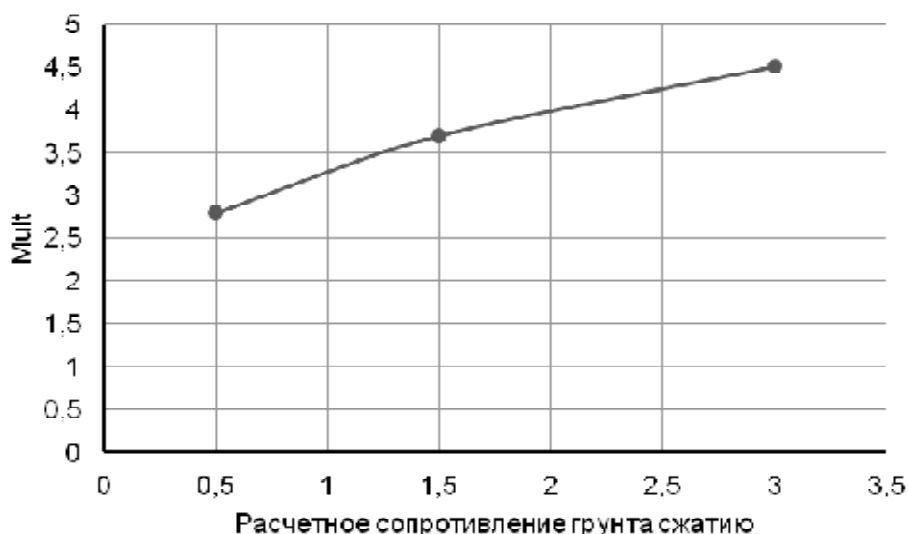
Продолжение таблицы

№ п/п	Величина момента, М, тм	Плотность засыпки, ρ , т/м ³	Расчетн. сопр. грунта отрыву R_c , т/м ²	Расчетн. сопр. грунта сжатию R_c , т/м ²	Результаты								Примечание
					Напряжения в грунте, т/м ²			Перемещение, мм			Среднее напр-я в бетоне, т/м ²		
					R_1	R_2	a, мм	dz_2	dz_1	x	N_1	N_3	
5	3	1	1	30	-4,54	-0,22	360	-2,51	-6,09	-1	284	-648	Требуется армирование Отрыв
6	3	1,3	0,05	30	-5,22	-0,54	0	-2,94	-6,87	-2	363	-1540	Требуется армирование
7	5	1,3	0,05	30	-6,41	-0,2	665	-2,45	-8,76	-3	507	-1050	Требуется армирование Отрыв
8	7,5	1,3	0,05	30	-5,71	-0,19	1440	-2,19	-31,7	-5	918	-1410	Отрыв Разрушение!
9	3	1,6	0,05	30	-6,12	-1,38	0	-3,54	-7,22	-2	101	-831	Требуется армирование

Примечание:

- разрушение совершается по грунту;
- знак «-» в значение dz соответствует перемещению вниз;
- знак «-» в значение dx соответствует перемещению влево;
- знак «-» в значение напряжений соответствуют сжатию;
- для бетона показаны усреднённые значения главных напряжений.

Для расчетных моделей определялись максимальные расчетные значения момента, воспринимаемого фундаментом M_{ult} , в зависимости от расчетного сопротивления грунта и плотности засыпки. Значение M_{ult} определялось при доведении фундамента до виртуального разрушения. В качестве критерия принималось значение отрыва фундамента. Точность результатов равна шагу приращения нагрузки. Значения M_{ult} показаны на графиках (рис. 1-2).

Рис. 1. Зависимость M_{ult} от расчетного сопротивления грунта (иллюстрация авторов)

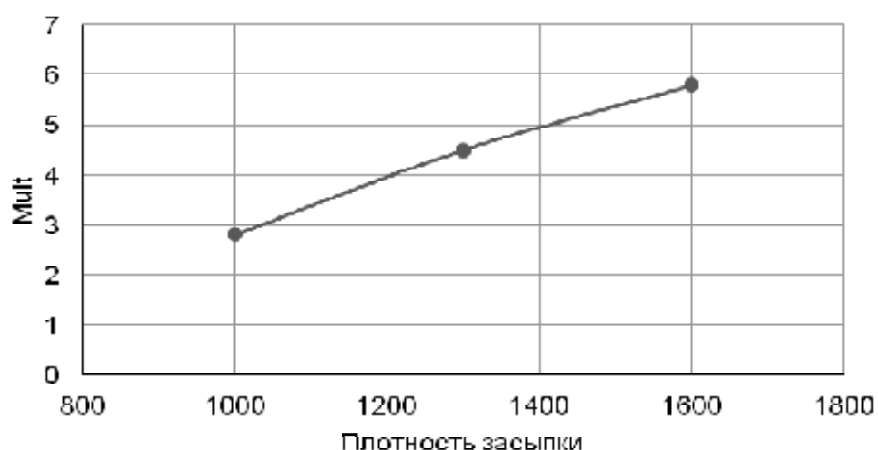


Рис. 2. Зависимость Mult от плотности засыпки (иллюстрация авторов)

Результаты и виды расчетных моделей

Проведенные исследования влияния фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов показали существенное влияние фактора плотности засыпки фундаментов на их несущую способность. Для рассмотренных моделей увеличение плотности засыпки от неплотного грунта, крупного гравия (1000 кг/м^3) до уплотненного грунта (1600 кг/м^3) привело к увеличению величины расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, в 2 раза.

Проведенные исследования влияния расчетного сопротивления грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, выявили существенное влияние указанного фактора. Изменение расчетного сопротивления грунта от 1 кг/см^2 (слабый насыпной грунт) до 3 кг/см^2 (грунт с хорошими средними по прочности характеристиками) приводило к увеличению расчетного момента, воспринимаемого фундаментом, в 1,5 раза. Данный фактор делает актуальным проведение специальных технологических мероприятий в виде уплотнения грунта в зоне установки сборно-разборного фундамента.

Результаты и виды расчетных моделей в графической форме приведены на рис. 3-8.

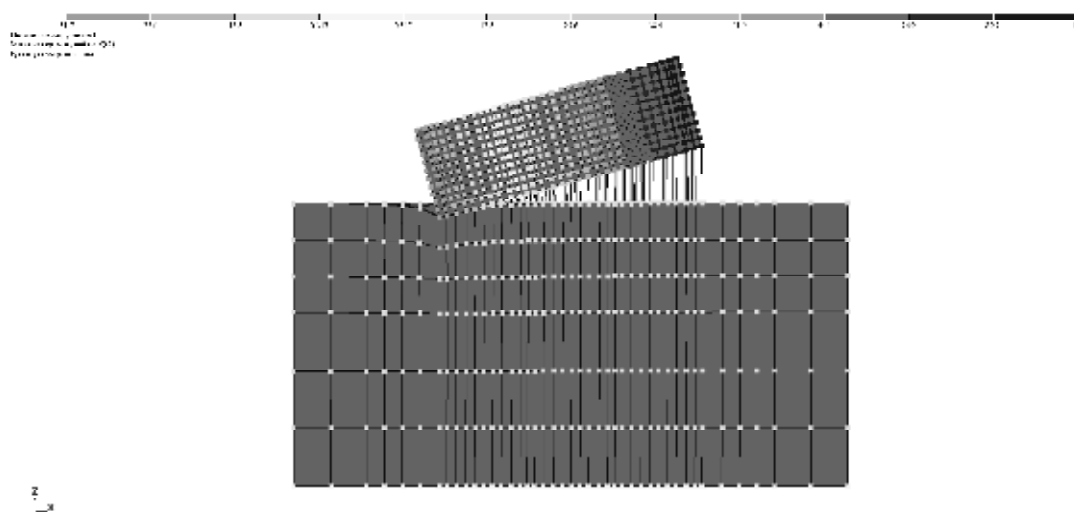


Рис. 3. Перемещения Z (иллюстрация авторов)

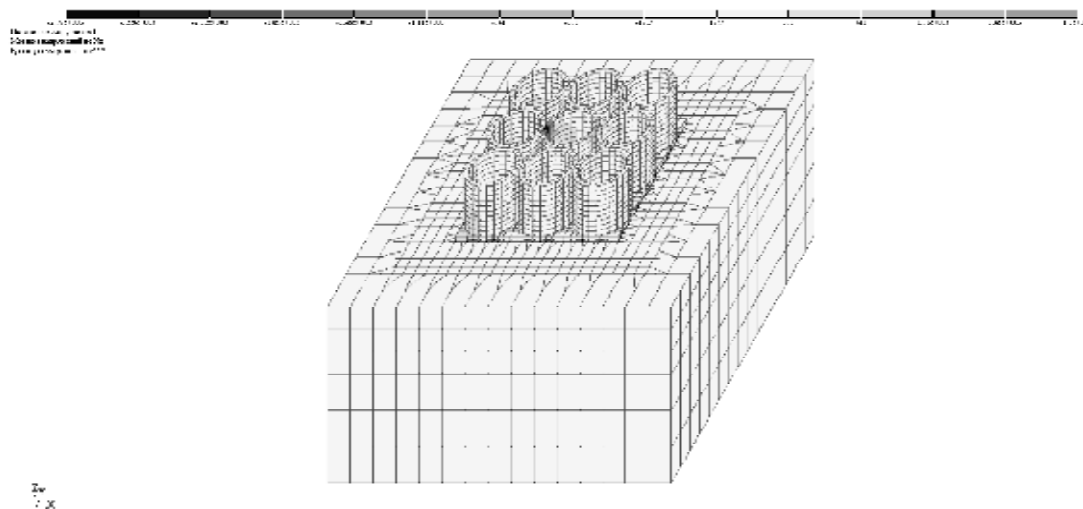


Рис. 4. Мозаика напряжений по N_z (иллюстрация авторов)

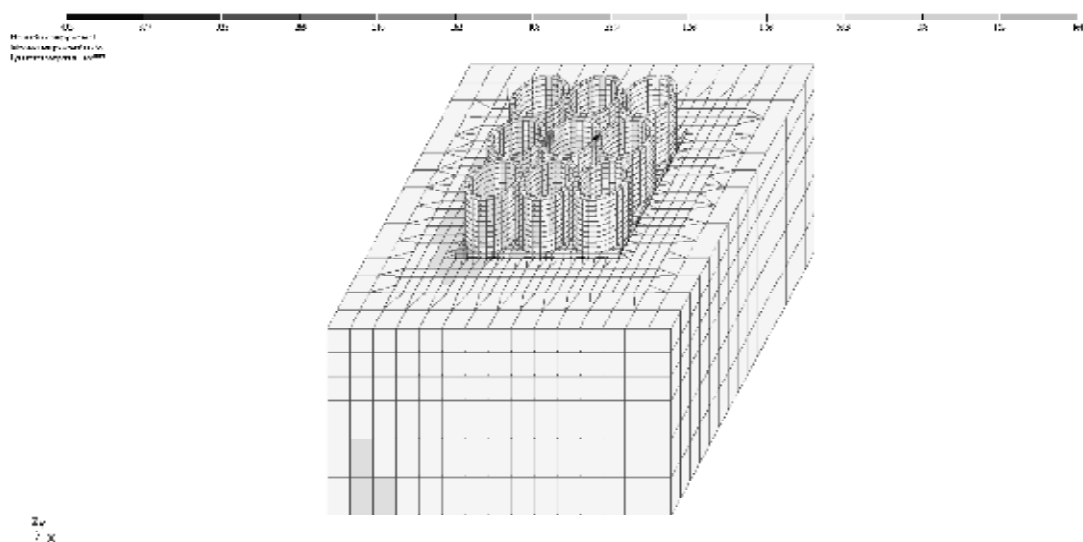


Рис. 5. Мозаика напряжений по N_y (иллюстрация авторов)

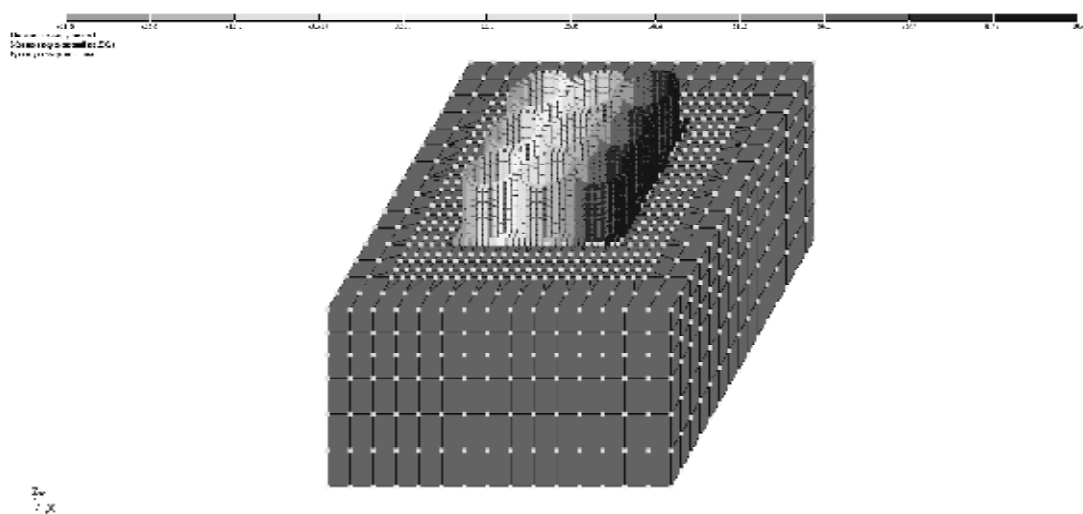


Рис. 6. Перемещения по z для бетона (иллюстрация авторов)

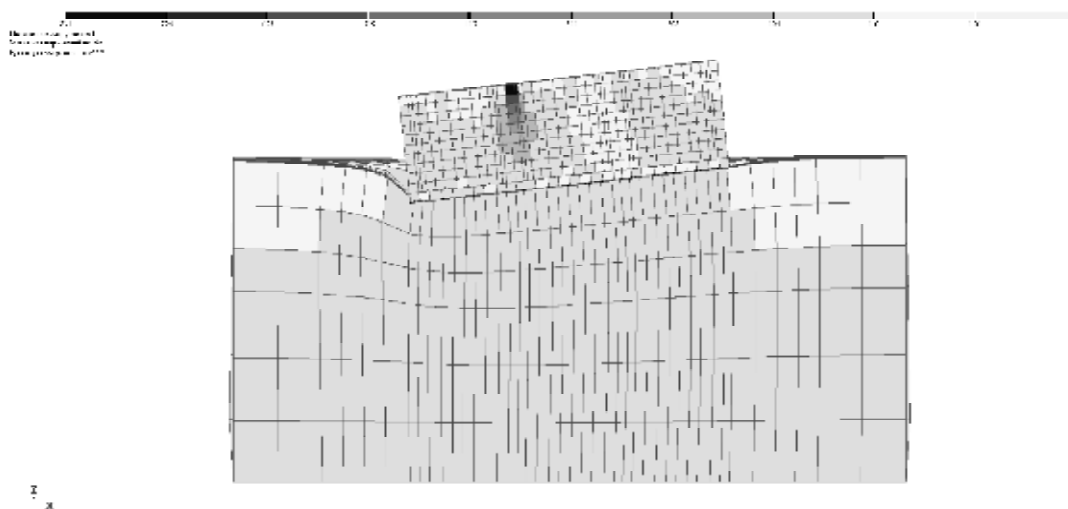
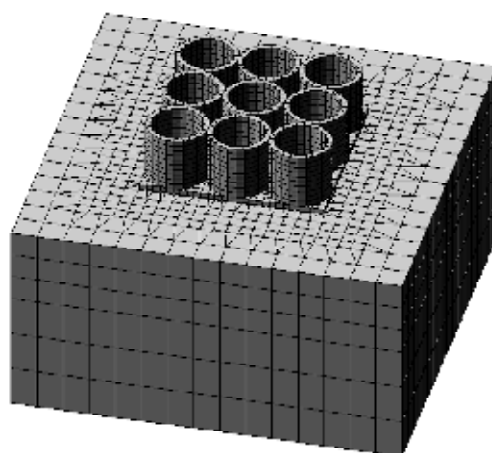
Рис. 7. Мозаика напряжений по N_z (иллюстрация авторов)

Рис. 8. Общий вид модели (иллюстрация авторов)

Конструктивное решение предложенной модели

Перед авторами стояла задача уменьшения числа соединительных болтов в блоках и в упрощении крепления анкерных устройств. Решение заключается в том, что фундамент под опору включает отдельные железобетонные блоки в виде полых элементов, состоящих из вертикальных стенок и нижних квадратных днищ. Стенки соседних блоков соединены болтами. Для крепления опор предусматриваются вертикальные анкерные устройства. При этом вертикальные стенки блоков выполнены в виде кругового очертания.

На рис. 9 представлена предлагаемая конструкция сборно-разборного фундамента под опору. Фундамент включает железобетонные элементы кругового очертания 1 с нижним квадратным днищем 2 и с отверстиями для крепления 3. На фундамент, в пределах блока кругового очертания 1, установлена опора 4. Опора устанавливается на анкера 5, которые крепятся болтами 6, соединяющими блоки кругового очертания 1. Данное конструктивное решение позволяет упростить монтирование несущих блоков и упростить крепление опор при помощи анкерных устройств. Для повышения устойчивости фундамента на опрокидывание, полости круговых блоков заполняются инертным материалом, например щебнем, песком и т.п.

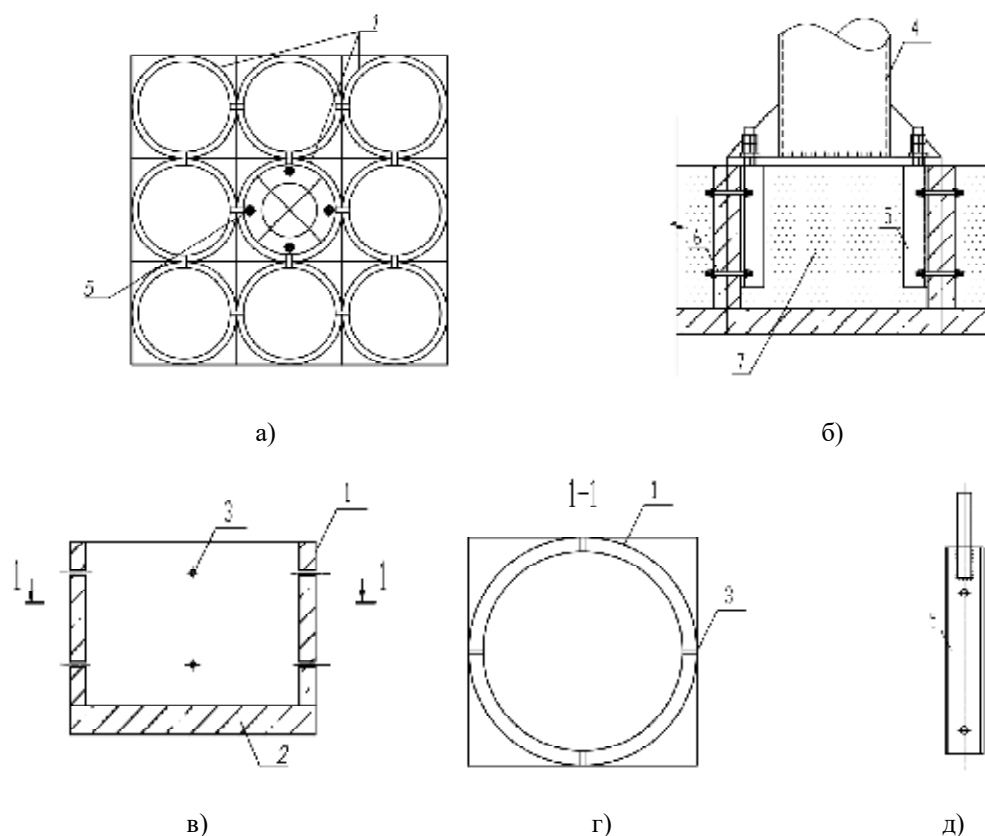


Рис. 9. Конструкция сборно-разборного фундамента под опору: а – общий вид; б – деталь опоры; в – отдельный железобетонный блок; г – разрез 1-1; д – общий вид анкера; 1 – железобетонные элементы кругового очертания; 2 – нижние квадратные днище; 3 – отверстия для крепления; 4 – опора; 5 – анкер; 6 – крепёжные болты; 7 – заполнение инертным материалом [7]

Заключение

Проведенные исследования показали существенное влияние фактора плотности засыпки полостей сборно-разборных фундаментов на их несущую способность. Значительное влияние также оказывает расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента на величину расчетного момента, воспринимаемого фундаментом. Полученные численные результаты позволили определить в указанном диапазоне расчетных нагрузок необходимые для их восприятия конструктивные параметры фундамента: количество, размеры и армирование ячеек, вид засыпки полостей ячеек.

Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в целесообразности применения разработанного сборно-разборного фундамента балластного типа, исходя из требований вводимых новых стандартов для стоечных конструкций. Нормативная несущая способность и необходимая деформативность рассматриваемых фундаментов от действия расчетных моментов обеспечивается.

Список библиографических ссылок

1. Ken Schmidt. Types of Cell Towers // Steel in the Air : official website. 2013. URL: <https://www.steelintheair.com/cell-phone-tower/> (дата обращения: 01.09.2019).
2. Савина Н. В., Варьгина А. О. Анализ целесообразности применения существующих методических подходов проектирования к воздушным линиям нового поколения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2019. Т. 19, № 2. С. 69–79.
3. Рекламный щит : пат. 2243596 Рос. Федерация. № 2003109272 ; заявл. 01.04.2003 ; опубл. 27.12.2004, Бюл. № 36. 6 с.
4. Foundation system for supporting a superstructure : patent 6050038A of the United

- States. Appl. No.: 09/152,092; decl. 11.09.1998 ; publ. 18.04.2000. 11 p.
5. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2625060 Рос. Федерация. № 2016121298 ; заявл. 30.05.2016 ; опубли. 11.07.2017, Бюл. № 20. 3 с.
 6. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2633604 Рос. Федерация. № 2016134679; заявл. 24.08.2016 ; опубли. 13.10.2017, Бюл. № 29. 4 с.
 7. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2681126 Рос. Федерация. № 2017143295; заявл. 11.12.2017 ; опубли. 04.03.2019, Бюл. № 7. 3 с.
 8. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R., Strelkov Yu. M., Khusainov D. M. Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 240. 8 p.
 9. Strelkov Y. M., Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R. Investigation of the joint operation of electric transmission lines with a new type concrete reinforced concrete foundation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 412. 5 p.
 10. Радайкин О. В., Шарафутдинов Л. А., Сабитов Л. С., Стрелков Ю. М. Исследование совместной работы опор линий электропередач со сборным железобетонным фундаментом нового типа на основе компьютерного моделирования в ПК ANSYS : сб. трудов VIII Международной научно-технической конференции (МНТК «ИМТОМ-2017») / Казань. 2017. С. 213–219.

Kuznetsov Ivan Leonidovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Khusainov Damir Minnigaleevich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: xdmt@mail.ru

Khabibulina Albina Gomerovna

candidate of economical sciences, associate professor

E-mail: albgomer@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Penkovcev Sergej Aleksandrovich

candidate of technical sciences, leading engineer

E-mail: restavratsija@mail.ru

LLC «Engineering centre «Energoprogress»

The organization address: 420044, Russia, Kazan, Volgogradskaya st., 34

Development of demountable foundation of ballast type for rack-mounted construction**Abstract**

Problem statement. Development of foundations for rack structures that meet modern criteria for dismantling and the possibility of use in conditions of restrictions.

Results. Proposed the calculation model of the construction of demountable foundation of ballast type under the support of air lines, cellular communication, lighting equipment, antennas, etc. Calculation of the model was made in the software complex «Lira-CAD». The design scheme of the proposed design is a spatial finite element model «foundation-ground base». Studies have shown a significant influence of the density factor filling cavities demountable foundations on their bearing capacity. Significant influence is also exerted by the calculated resistance of the soil under the sole of the Foundation on the value of the calculated moment perceived by the Foundation. The obtained numerical results made it possible to determine in the specified range of design loads the structural parameters of the Foundation necessary for their perception: the number, size and reinforcement of cells, the type of filling of cell cavities.

Conclusions. The significance for the construction industry lies in the feasibility of using the developed demountable foundation of ballast type, based on the requirements of the new

standards for rack structures. Normative bearing capacity and necessary deformability of these foundations from the action of design moments is provided.

Keywords: demountable foundation, rack structures, ballast type foundation.

References

1. Ken Schmidt. Types of Cell Towers // Steel in the Air : official website. 2013. URL: <https://www.steelintheair.com/cell-phone-tower/> (reference date: 01.09.2019).
2. Savina N. V. Varygina A. O. The analysis of expediency of application of existing methodical approaches of design to air lines of new generation // Vestnik YUUrGU. Seriya «Energetika». 2019. Vol. 19, № 2. P. 69–79.
3. Billboard : patent 2243596 of the Rus. Federation. № 2003109272 ; decl. 01.04.2003 ; publ. 27.12.2004, Bull. № 36. 6 p.
4. Foundation system for supporting a superstructure : patent 6050038A of the United States. Appl. № : 09/152,092; decl. 11.09.1998 ; publ. 18.04.2000. 11 p.
5. Demountable foundation for pillar : patent 2625060 of the Rus. Federation. № 2016121298 ; decl. 30.05.2016 ; publ. 11.07.2017, bull. № 20. 3 p.
6. Demountable foundation for pillar : patent 2633604 of the Rus. Federation. № 2016134679; decl. 24.08.2016 ; publ. 13.10.2017, bull. № 29. 4 p.
7. Demountable foundation for pillar : patent 2681126 of the Rus. Federation. № 2017143295; decl. 11.12.2017 ; publ. 04.03.2019, bull. № 7. 3 p.
8. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R., Strelkov Yu. M., Khusainov D. M. Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 240. 8 p.
9. Strelkov Y. M., Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanshin I. R. Investigation of the joint operation of electric transmission lines with a new type concrete reinforced concrete foundation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 412. 5 p.
10. Radaikin O. V., Sharafutdinov L. A., Sabitov L. S., Strelkov Yu. M. Study of joint work of transmission line supports with precast concrete foundation of a new type based on computer modeling in PC ANSYS : proceedings of the VIII International scientific and technical conference (ISTC «IMTOM-2017») / Kazan. 2017. P. 213–219.