

УДК 624.019; 624.072

**Хусаинов Д.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [xdmt@mail.ru](mailto:xdmt@mail.ru)

**Пеньковцев С.А.** – кандидат технических наук, старший преподаватель

**Хабибулина А.Г.** – кандидат экономических наук, доцент

E-mail: [albgomer@mail.ru](mailto:albgomer@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

## **Разработка фундаментов балластного типа для стоечных конструкций**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Разработка стоечных конструкций соответствующих требованиям вводимых новых стандартов.

*Результат.* Данная разработка представляет собой сборно-разборный фундамент под опору, включающий отдельные железобетонные блоки в виде призм, установленных на поверхность основания и стянутых между собой горизонтальными тяжами, и анкерные устройства для крепления опор. Железобетонные блоки выполнены в виде полых призм, состоящих из стенок и квадратных днищ, а тяжи выполнены в виде болтов, стягивающих стенки по верху и низу, при этом анкерные устройства для крепления опор выполнены в виде анкеров на днище центральной призмы и горизонтальных распорок между опорой и стенками призмы в верхней ее части.

*Выводы.* Значимость для строительной отрасли заключается в том, что разработанный новый тип сборно-разборного фундамента может быть использован для рекламных конструкций и для опор ВЛ от 1 до 10 кВт. Полученные результаты численных расчетов подтверждают, что несущая способность и требуемая деформативность данных фундаментов от действия расчетных моментов обеспечиваются.

**Ключевые слова:** фундамент, опора, сборно-разборный, балластный, железобетонные блоки.

В последние десятилетия самое широкое применение получили стоечные конструкции, предназначенные для установки в различных по назначению местах с целью их использования в качестве конструкций рекламного, энергетического, коммуникационного назначения. Одним из основных факторов способствующих их распространению является простота их конструктивной формы, состоящей из несущего стержня – столба, его фундамента и носителя информации или устанавливаемого оборудования, выполняемого в виде крепления к определенной поддерживающей стержневой системе в виде стоек или балок.

Особенностью современных тенденций во вводимых новых стандартах, касающихся стоечных конструкций, являются [1]:

1. Повышенные требования к демонтажу стоечных конструкций, включая их фундаменты.
2. Введение ограничений на места установки стоечных конструкций путем запрета их установки в зоне расположения коммуникаций, в зонах массового нахождения людей (остановочные платформы и стоянки), с удалением положения конструкций от транспортных дорог и развязок.

Большинство этих ограничений связано со сложностью демонтажа наиболее массовых типов фундаментов заглубленного типа: свайных или мелкозаложенных, которые из-за особенностей стоечных систем, как правило, изготавливаются из монолитного железобетона массивного по массе и размерам. Все эти типы фундаментов невозможно использовать во временных стоечных системах, устанавливаемых в зоне нахождения коммуникаций, на период проведения зрелищных мероприятий и ремонтных работ, а также в стесненных условиях городской застройки. Необходимость установки стоечных конструкций в условиях указанных ограничений привела к возникновению новых конструктивных решений фундаментов, а именно, фундаменты балластного типа,

устанавливаемые на поверхность земли без ограничений на установленное время [2-4].

Основываясь на российском и зарубежном опыте, авторами получен патент [5-8]. В патенте РФ № 2625060 от 11.07.2017 г. предложено конструктивное решение фундамента балластного типа, обладающее повышенной легкостью монтажа и демонтажа, возможностью изменения размеров в зависимости от величин воспринимаемых расчетных нагрузок. Разработанная конструкция представляет собой сборно-разборный фундамент под опору, включающий отдельные железобетонные блоки в виде призм 1, с отверстиями 2 для болтов 3, установленных на поверхность основания и стянутые между собой горизонтальными тяжами, и анкерные устройства 5 для крепления опор. Железобетонные блоки выполнены в виде полых призм, состоящих из стенок и квадратных днищ, а тяжи выполнены в виде болтов, стягивающих стенки по верху и низу, при этом, анкерные устройства 5 для крепления опор выполнены в виде анкеров на днище центральной призмы и горизонтальных распорок 6 между опорой и стенками призмы в верхней ее части.

Сборно-разборный фундамент под опору реализуется следующим образом (рис. 1): железобетонные блоки в виде полых квадратных призм 1 устанавливаются на основание и стягиваются между собой болтами 3 устанавливаемые в отверстия 2 в стенках призм. Опора 4 устанавливается на днище центральной призмы и закрепляется анкерными болтами 5, а на уровне верха призмы распорками 6. Для повышения несущей способности фундамента на опрокидывание, полость призм заполняется сыпучим инертным материалом, например, щебнем. Демонтаж фундамента происходит в обратной последовательности: сначала из полостей призм убирается щебень 7, затем освобождаются распорки 6 и анкерные болты 5 опоры. После демонтажа опоры 4, освобождаются болты 3, стягивающие стенки призм.

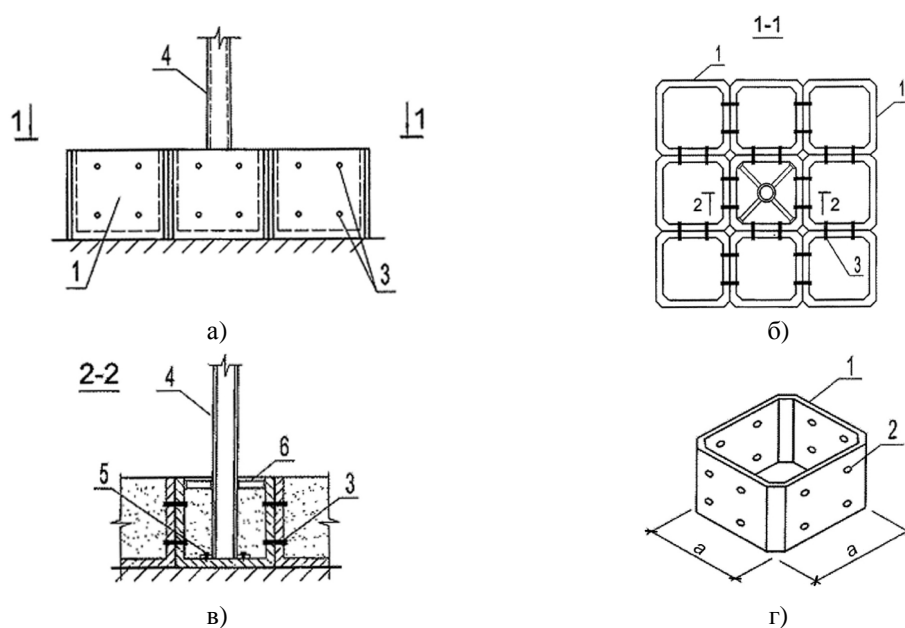


Рис. 1. Сборно-разборный фундамент под опору:

а – общий вид; б – вид сверху, разрез 1-1; в – разрез 2-2;

г – аксонометрия железобетонного блока в виде полых квадратных призм с размерами днища «а»

Сборно-разборный фундамент позволяет уменьшить его массу при транспортировании и монтаже, а также снизить расход материалов и трудоемкость на крепление железобетонных блоков-призм и опоры. Главным преимуществом предлагаемого сборно-разборного фундамента является быстрота его возведения без проведения земляных работ и возможность более легкого демонтажа по сравнению с используемыми типами фундаментов. Данная особенность делает привлекательным использование данных фундаментов в стесненных (городских) условиях, в условиях ограничений на использование земляных работ, для быстрой ликвидации аварий участков ВЛ с необходимостью установки новых опор вместо разрушенных, для установки опор в удаленных и труднодоступных местах.

Для оценки возможности применения данного конструктивного решения фундамента был выполнен его расчет на действие расчетных ветровых нагрузок, вызывающих появление расчетных моментов до 10 Тм для рекламных типовых конструкций и от 2 до 7,5 Тм для опор линий ВЛ (высоковольтных линий) от 6 до 10 кВт. При расчетах варьировали величину засыпки в пазухи фундамента. При этом рассматривались варианты засыпки из местного грунта. Расчет грунта под подошвой фундамента принимался соответствующим наиболее вероятному и неблагоприятному варианту в виде насыпного грунта. Так как планируется использовать данный тип фундамента по многогранные опоры ВЛ, требующие для их опирания и крепления труб диаметром от 245 до 530 мм были выбраны 2 варианта ячеек размером 0,6×0,6×0,6 м и 1×1×1 м.

Расчет выполнен в программном комплексе «Лири-САПР». Расчетная схема конструкции представляет собой пространственную конечно-элементную модель «фундамент – грунтовое основание», состоящую из объемных 6-ти и 8-ми узловых физически нелинейных элементов грунта, объемных 6-ти и 8-ми узловых линейных элементов, моделирующих железобетонный фундамент, и стержневых элементов односторонних упругих связей, моделирующих граничный слой опирания фундамента на грунт. Для обеспечения возможности приложения внешних нагрузок для фундаментного блока, расположенного в центре, смоделированы закладные детали, которые условно приняты в виде стержней с жесткостью много большей, чем жесткость элементов основной схемы. Соединение закладных деталей и поверхностей фундаментного блока выполнено с использованием абсолютно жестких тел [9, 10].

В качестве грунта был принят насыпной песок. Класс бетона фундамента принят В25. Характеристики конечных элементов показаны в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики конечных элементов

№ п/п	Наименование	Характеристики		
		КЭ грунта	КЭ фундамента	КЭ односторонней связи по Z
1	2	3	4	5
1	Тип КЭ	271-274	34, 36	262
2	$E_0, МПа$	10	30000	-
3	$\nu$	0,3	0,2	-
4	$\rho, м/м^2$	1,6	2,5	-
5	$s_{max}^+, МПа$	0,001	-	-
6	$s_{min}^-, МПа$	-0,05	-	-
7	$C, МПа$	0,001	-	-
8	$\alpha$	30	-	-
9	$R_z, м/м$	-	-	1000

Рассмотрено 2 варианта моделей, состоящих из 9 и 25 ячеек фундаментных блоков. Расчет был выполнен на реальные нагрузки, позволяющие использовать наш фундамент для типовых рекламных щитов (для них расчетный момент 10 Тм), для опор высоковольтных линий со стальными многогранными опорами по типовой серии 3,407 от 6 до 10 кВт (с расчетным моментом от 3-5,5 Тм). При расчете учитывалась величина отрыва опор от грунта, которая по СП 22.13330.2011 «Основания и фундаменты» не должна превышать  $\frac{1}{4}$  размера подошвы. Вес одного элемента фундамента составляет 200 кг (для блока 600×600×600 мм), что позволяет использовать при монтаже только простейшую технику типа «Сам грузу сам вожу». Вес 25-ти элементов для фундамента размером 3×3 м составляет около 5 тонн. В варианте с монолитным бетонным фундаментом с размерами 3×3×0,6 м вес его будет в 2 раза больше. Расчет фундаментов проводился при самом невыгодном состоянии грунта в месте монтажа опоры: насыпной грунт с расчетным сопротивлением не более 1 кг/см<sup>2</sup>.

Использовалась расчетная схема с моделированием грунта упругими опорами. Упругие опоры, реализованные в программном комплексе «ЛИРА», работают только на сжатие. Массив грунта под опорой моделировался грунтом со средними деформационными характеристиками: с модулем упругости 10 МПа. Было принято 2 последовательных нагружения: нагружение 1 – вертикальные нагрузки, включая собственный вес фундамента и засыпки; нагружение 2 – изгибающий момент. Каждое нагружение включало 3 равных шага приложения нагрузки. Расчетная схема фундамента и схема приложения нагрузок показана на рис. 2.

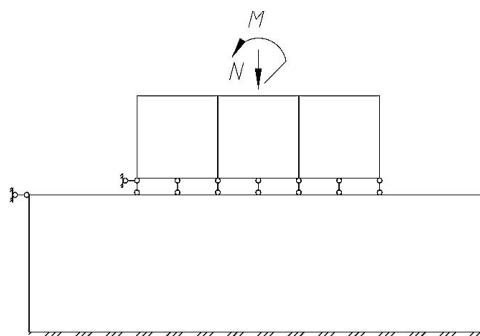


Рис. 2. Расчетная схема

Основные результаты компьютерного моделирования приняты в соответствии с рис. 3 и представлены в табл. 2-3.

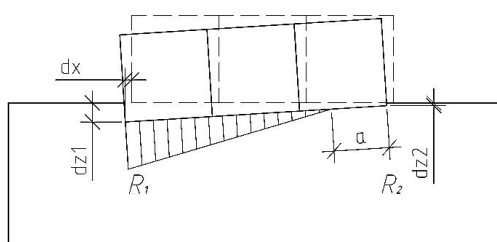


Рис. 3. Схема оценки результатов

Таблица 2

Основные результаты расчета для размера 600×600 мм

№ п/п	Величина момента Исх./факт. М, Тм	Плотность засыпки, т/м <sup>2</sup>	Результаты								Прим.
			Напряжения в грунте, МПа			Перемещение, мм			Сред. напр-я в бетоне, МПа		
			R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	a, мм	dz2	dz1	dx	N <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фундамент 3×3 м											
1	1	1,6	-0,009	-0,003	0	-1,82	-3,1	-0,05	0,44	-0,53	Армирование не требуется
2	3,5	1,6	-0,04	0,001	510	-0,94	-6	-1	1,5	-1,3	Требуется армирование
3	3,5	1,3	-0,039	0,001	600	-0,71	-5,57	-0,93	1,5	-1,3	Требуется армирование
4	3,5	1	-0,04	0,0009	750	-0,51	-5,53	-0,94	1,49	-1,32	Требуется армирование
5	5/3,3	1,6	-0,045	0,001	600	-0,83	-6,8	-1,5	1,69	-1,45	Требуется армирование Разрушение!
6	7,5/2,5	1,6	-0,034	0,001	300	-1,12	-4,8	-0,55	1,6	-1,67	Требуется армирование Разрушение!
7	10/3	1,6	-0,1	0,001	1770	+3000	-166	41	5,2	-2	Отрыв, разрушение!
Фундамент 5×5 м											
8	5	1,6	-0,027	-0,001	0	-1,45	-3,6	-0,1	2,65	-1,05	Требуется армирование
9	7,5	1,6	-0,03	-0,003	160	-1	-4,31	-0,3	4,11	-1,53	Требуется армирование
10	10	1,6	-0,037	0,001	540	-0,67	-5,4	-0,8	5,56	-2,01	Требуется армирование

Примечание

1. Разрушение происходит по грунту.
2. Значение dz со знаком «->» соответствует перемещению вниз, dx со знаком «->» соответствует перемещению влево.
3. Значения напряжений со знаком «->» соответствуют сжатию.
4. Для бетона указаны средние значения главных напряжений.

Таблица 3

## Основные результаты расчета для размера 1000×1000 мм

№ п/п	Величина момента Исх./факт. М, тм	Плотность засыпки, т/м <sup>2</sup>	Результаты								Прим.
			Напряжения в грунте, МПа			Перемещение, мм			Макс. напр-я в бетоне, МПа		
			$R_1$	$R_2$	a, мм	$dz1$	$dz2$	$dz2$	$N_1$	$N_3$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фундамент 3×3 м											
1	3,5	1,6	-0,032	-0,021	0	-5,86	-7,37	-0,31	0,98	-1,44	Армирование не требуется
2	3,5	1,3	-0,028	-0,018	0	-4,9	-6,33	-0,12	0,99	-1,43	Армирование не требуется
3	3,5	1	-0,026	-0,015	0	-4,04	-5,4	-0,04	1,0	-1,41	Армирование не требуется
4	5	1	-0,028	-0,012	0	-3,7	-6,04	-0,17	1,81	-2,19	Требуется армирование
5	5	1,3	-0,031	-0,015	0	-4,57	-7,01	-0,32	1,8	-2,19	Требуется армирование
6	5	1,6	-0,034	-0,017	0	-5,5	-8,17	-0,66	1,8	-2,2	Требуется армирование
7	7,5	1	-0,031	-0,009	0	-3,25	-6,91	-0,41	2,8	-3,18	Требуется армирование
8	7,5	1,3	-0,037	-0,01	0	-4,12	-8	-0,72	2,8	-3,18	Требуется армирование
9	7,5	1,6	-0,037	-0,012	0	-5,03	-9,4	-1,35	2,8	-3,19	Требуется армирование
10	10	1	-0,034	-0,004	0	-2,77	-7,95	-0,8	3,82	-4,17	Требуется армирование
11	10	1,3	-0,037	-0,006	0	-3,62	-9,22	-1,34	3,82	-4,17	Требуется армирование
12	10	1,6	-0,041	-0,009	0	-4,54	-10,88	-2,25	3,81	-4,17	Требуется армирование
Фундамент 5×5 м											
13	3,5	1,6	-0,038	-0,027	0	-7,15	-7,72	-0,95	0,96	-1,52	Армирование не требуется
14	5	1	-0,026	-0,018	0	-4,56	-5,29	-0,03	1,77	-2,27	Требуется армирование
15	5	1,3	-0,028	-0,021	0	-5,52	-6,32	-0,2	1,76	-2,28	Требуется армирование
16	5	1,6	-0,032	-0,017	0	-7,02	-8,01	-1,15	1,76	-2,28	Требуется армирование
17	7,5	1	-0,026	-0,011	0	-4,41	-5,51	-0,06	2,76	-3,23	Требуется армирование
18	7,5	1,3	-0,029	-0,021	0	-5,36	-6,59	-0,3	2,76	-3,24	Требуется армирование
19	7,5	1,6	-0,033	-0,024	0	-6,87	-8,38	-1,41	2,76	-3,24	Требуется армирование
20	10	1	-0,027	-0,017	0	-4,26	-5,74	-0,09	3,76	-4,19	Требуется армирование
21	10	1,3	-0,029	-0,019	0	-5,2	-6,88	-0,42	3,75	-4,2	Требуется армирование
22	10	1,6	-0,034	-0,021	0	-6,7	-8,79	-1,7	3,75	-4,2	Требуется армирование

Примечание

1. Разрушение происходит по грунту.
2. Значение  $dz$  со знаком «-» соответствует перемещению вниз,  $dx$  со знаком «-» соответствует перемещению влево.
3. Значения напряжений со знаком «-» соответствуют сжатию.

В табл. напряжение в грунте  $R_1$  и  $R_2$  показывают возможный отрыв подошвы фундамента (со знаком плюс) или его отсутствие (знак минус) от грунта основания.

Результаты расчетов и виды расчетных моделей в графической форме приведены на рис. 4-12.

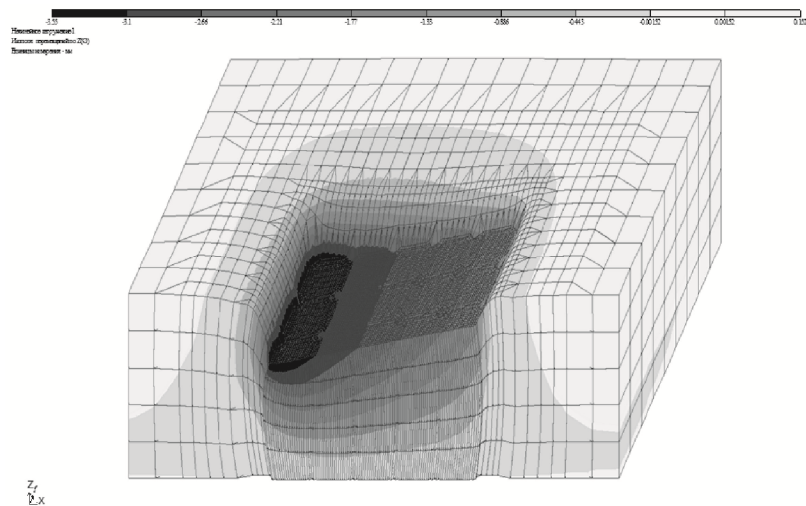


Рис. 4. Изополя перемещений по Z(G) в грунте

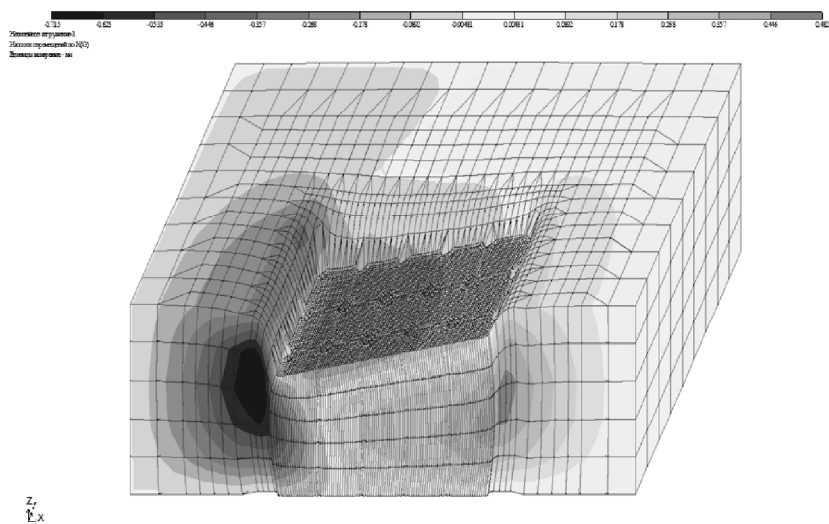


Рис. 5. Изополя перемещений по X(G) в грунте

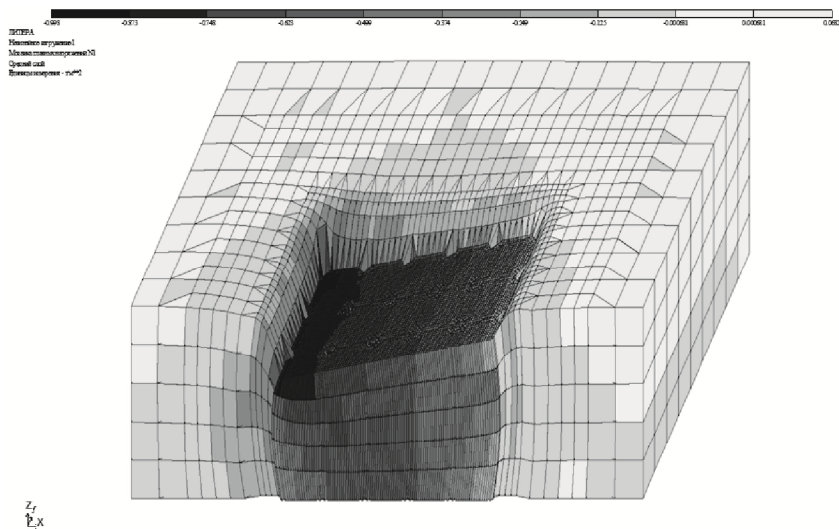


Рис. 6. Мозаика главных напряжений  $N_1$  в грунте

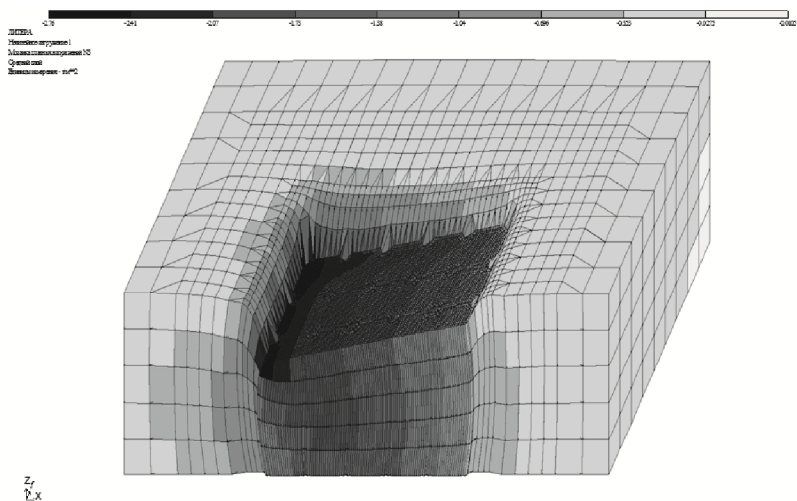


Рис. 7. Мозаика главных напряжений  $N_3$  в грунте

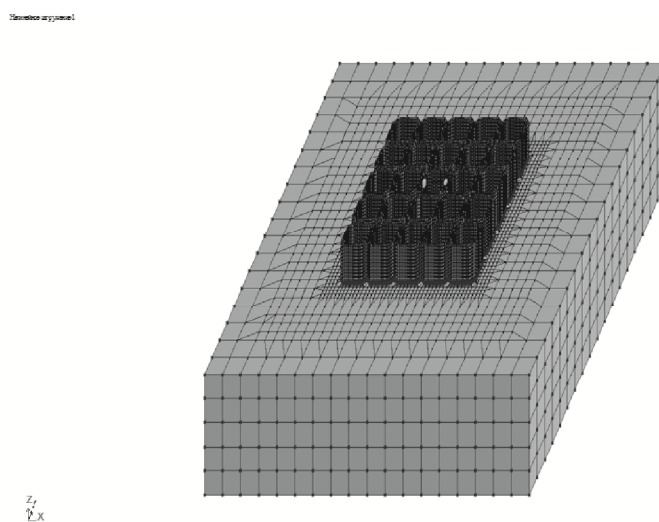


Рис. 8. Общий вид модели

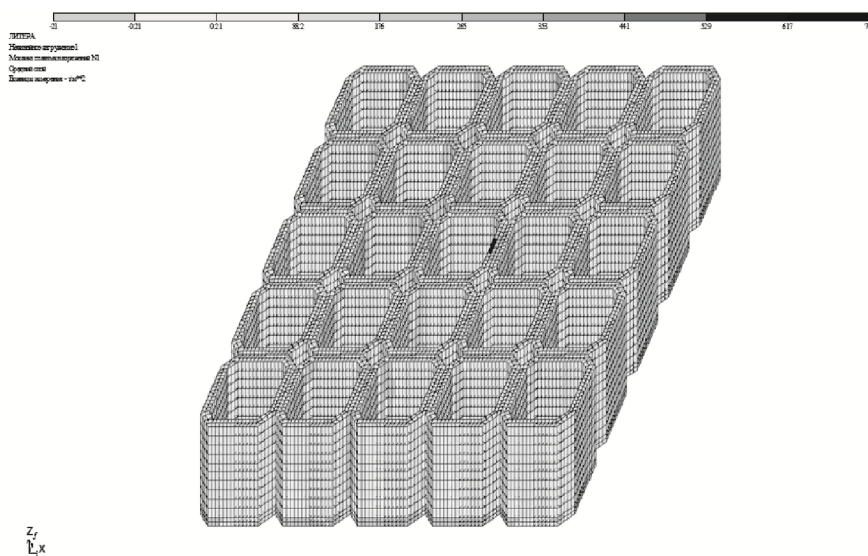


Рис. 9. Мозаика главных напряжений  $N_1$  в бетоне



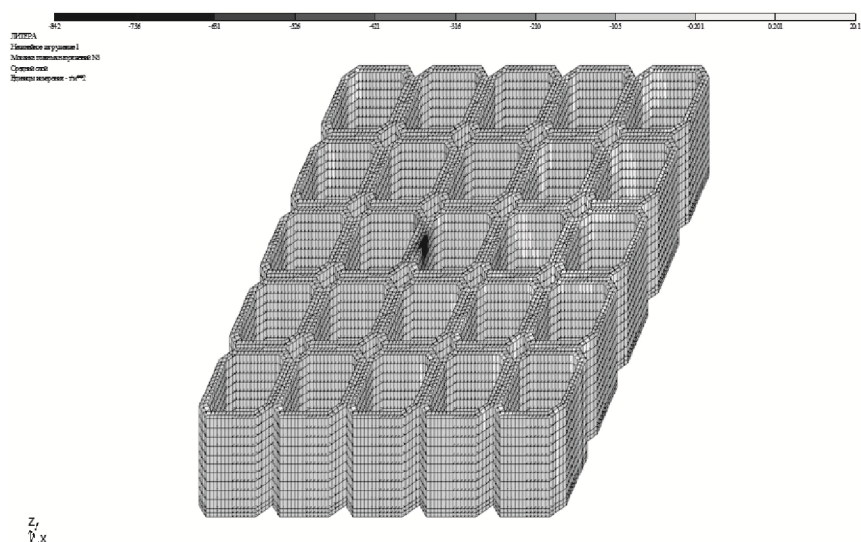


Рис. 10. Мозаика главных напряжений  $N_3$  в бетоне

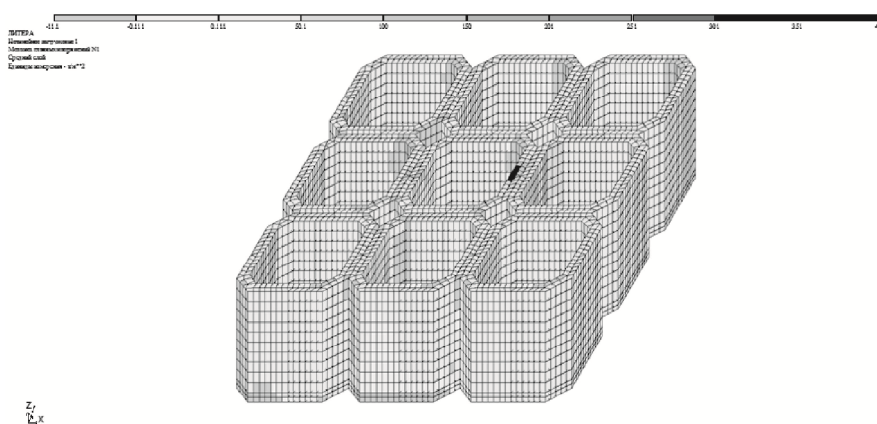


Рис. 11. Мозаика главных напряжений в бетоне фундамента

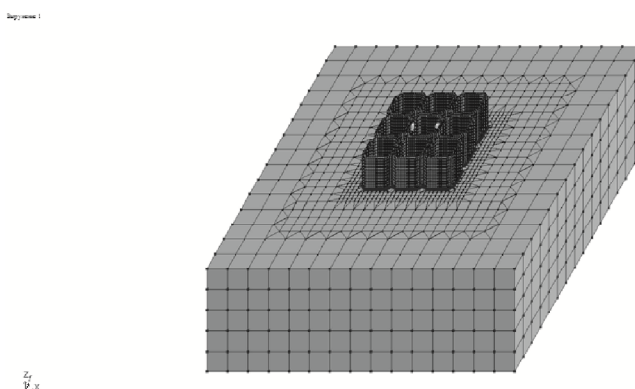


Рис. 12. Общий вид модели 3×3

Проведенные численные исследования позволили определить для рассмотренного диапазона расчетных нагрузок необходимые для их восприятия параметры фундаментов: количество ячеек и их размеры, армирование ячеек, тип засыпки полости ячеек. Полученные результаты численных расчетов позволяют сделать однозначный вывод о возможности использования разработанного типа сборно-разборного фундамента как для рекламных конструкций так и для опор ВЛ от 1 до 10 кВт. Несущая способность и требуемая деформативность данных фундаментов от действия расчетных моментов обеспечивается.



### Список библиографических ссылок

1. Красник В. В. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах. М. : ЭНАС, 2012. 512 с.
2. Хусаинов Д. М., Козлов М. В., Шагиева Г. Р. Определение оптимальных размеров фундаментов рекламных конструкций балластного типа // Известия КГАСУ. 2012. № 4 (22). С. 171–174.
3. Ахунова З. Р., Хусаинов Д. М., Кузнецов И. Л., Стрелков Ю. М., Сабитов Л. С. Сборно-разборный фундамент под опору : сб. трудов Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016» / КНИАТ. Казань, 2016. С. 227–230.
4. Sabitov L. S., Kashapov N. F., Gilmanishin 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. 8 p.
5. Рекламный щит : пат. 2243596 Рос. Федерация. № 2003109272 ; заявл. 01.04.2003 ; опубл. 27.12.2004, Бюл. № 36. 2 с.
6. Tube pile foundation // KAAL.NL : official website. 2012. URL: <http://www.kaal.nl/en/tubepilefoundation> (дата обращения: 01.05.2016).
7. Precast post tensioned foundation system // CELLBLOCKSINC.COM : official website. 2008. URL: <http://www.cellblocksinc.com/> (дата обращения: 01.05.2016).
8. Сборно-разборный фундамент под опору : пат. 2625060 Рос. Федерация. № 2016121298 ; заявл. 30.05.2016 ; опубл. 11.07.2017, Бюл. № 20. 2 с.
9. Shaishav R. Viradiya, Tarak P. Vora comparative study of experimental and analytical results of FRP strengthened beams in flexure // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014. V. 03. P. 555–561.
10. Соколов Б. С., Радайкин О. В., Абудерб С. С. Применение компьютерного моделирования для анализа напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов в зоне совместного действия изгибающих моментов и перерезывающих сил // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. 2016. С. 388–393.

**Khusainov D.M.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [xdmt@mail.ru](mailto:xdmt@mail.ru)

**Penkovtsev S.A.** – candidate of technical sciences, senior lecturer

**Khabibulina A.G.** – candidate of economical sciences, associate professor

E-mail: [albgomer@mail.ru](mailto:albgomer@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### Development of the foundations of the ballast type for rack-mounted construction

#### Abstract

*Problem statement.* The development of mullion structures meet the requirements introduced by the new standards.

*Results.* This development is a collapsible foundation for support, which includes separate reinforced concrete blocks in the form of prisms installed on the surface of the base and pulled together by horizontal strings, and anchor devices for supporting the supports. The reinforced concrete blocks are made in the form of hollow prisms consisting of walls and square bottoms, and the strings are made in the form of bolts that tighten the walls along the top and bottom, while the anchoring devices for fastening the supports are made in the form of anchors on the bottom of the central prism and horizontal spacers between the support and the walls of the prism in its upper part.

*Conclusions.* Significance for the construction industry is that a new type of prefabricated

base can be used for advertising structures and supports for overhead lines from 1 to 10 kW. The obtained numerical results confirm that the bearing capacity and deformability data of the required foundations from the action of design moments are provided.

**Keywords:** foundation, pillar, demountable, ballast, reinforced concrete blocks.

### References

1. Krasnik V. V. Rules for electrical installation in questions and answers. M. : ENAS, 2012. 512 p.
2. Khusainov D. M., Kozlov M. V., Shagieva G. R. To determine the optimal size of the foundations of advertising structures ballast type // *Izvestiya KGASU*. 2012. № 4 (22). P. 171–174.
3. Akhunova Z. R., Khusainov D. M., Kuznetsov I. L., Strelkov Yu. M., Sabitov L. S. Demountable foundation for pillar // *Materials of the international scientific and technical conference «Innovative machine-building technologies, equipment and materials – 2016» / KNIAT. Kazan, 2016. P. 227–230.*
4. 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. 8 p.
5. Billboard : patent 2243596 of the Rus. Federation. № 2003109272 ; decl. 01.04.2003 ; publ. 27.12.2004, Bull. № 36. 2 p.
6. Tube pile foundation // KAAL.NL : official website. 2012. URL: <http://www.kaal.nl/en/tubepilefoundation> (reference date: 01.05.2016).
7. Precast post tensioned foundation system // CELLBLOCKSINC.COM : official website. 2008. URL: <http://www.cellblocksinc.com/> (reference date: 01.05.2016).
8. Demountable foundation for pillar : patent 2625060 of the Rus. Federation. № 2016121298 ; decl. 30.05.2016 ; publ. 11.07.2017, Bull. № 20. 2 p.
9. Shaishav R. Viradiya, Tarak P. Vora comparative study of experimental and analytical results of FRP strengthened beams in flexure // *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014. V. 03. P. 555–561.
10. Sokolov B. S., Radaykin O. V., Abuberb S. S. Application of computer simulation for analysis of the stressed-deformed state of bent concrete reinforced elements in the zone of joint action of bending moments and shear forces In the collection // *Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruktsiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnye vozdeystviya*. 2016. P. 388–393.