

КОНЦЕПЦИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ОПОР ВЛ

Романов П. И., к. т. н., главный специалист, ООО «ПО Энергожелезобетонинвест»

Козловский В. Е., к. т. н., доцент кафедры «Основания и фундаменты», Петербургский государственный университет путей сообщения

Строительство фундаментов опор ВЛ нередко осложнено доставкой с завода крупногабаритных и тяжелых конструкций. Для решения проблемы предлагаются сборные фундаменты из отдельных элементов. Рассмотрены инструментальный и численный подходы к анализу работы сборного фундамента из рассредоточенных горизонтальных элементов на вдавливающую и выдергивающую нагрузки. Произведена оценка развития деформаций в основании модели элементного фундамента методом фотограмметрии с обработкой муаровых полос. Получены количественные показатели эффекта в повышении несущей способности и снижении деформаций в зависимости от шага элементов.

В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ СПОСОБЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТА ПОДВЕРГАЮТСЯ ИСПЫТАНИЮ В ЛОТКЕ СО СТЕКЛЯННОЙ СТЕНКОЙ. ДЕФОРМАЦИИ ЗАМЕРЯЮТСЯ МЕТОДОМ ФОТОГРАММЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО МУАРОВОГО ЭФФЕКТА. ОН ПОЗВОЛЯЕТ ОЦЕНИТЬ УГЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ ПО ЕСТЕСТВЕННОМУ РАСТРУ, СОЗДАВАЕМОМУ ЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ГРУНТА, С ПОЛУЧЕНИЕМ ОСТАЛЬНЫХ (ОСЕВЫХ) КОМПОНЕНТ ДЕФОРМАЦИЙ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Силовое воздействие, передаваемое на грунт, как известно, оказывает влияние на соседние точки грунтового основания, причем с их отдалением от зоны приложения нагрузки влияние снижается. Этот факт иллюстрируется на **рис. 1**, из которого следует, что сложение зон влияния нагрузок при их близком расположении приводит к увеличению осадки основания. И наоборот, отдаление нагрузок друг от друга приводит к положительному эффекту — снижению осадок.

Грибовидные фундаменты опор ВЛ являются громоздкими и тяжелыми конструкциями [1], доставка которых на объект единым элементом часто затруднена. В связи с этим актуальна замена плитной части фундамента на систему горизонтальных элементов, передающих нагрузку на выше либо ниже расположенное грунтовое основание, в зависимости от характера работы фундамента. При этом может быть снижена осадка фундамента, облегчены логистические задачи, снижены затраты на транспортировку и использование тяжелой грузоподъемной техники.

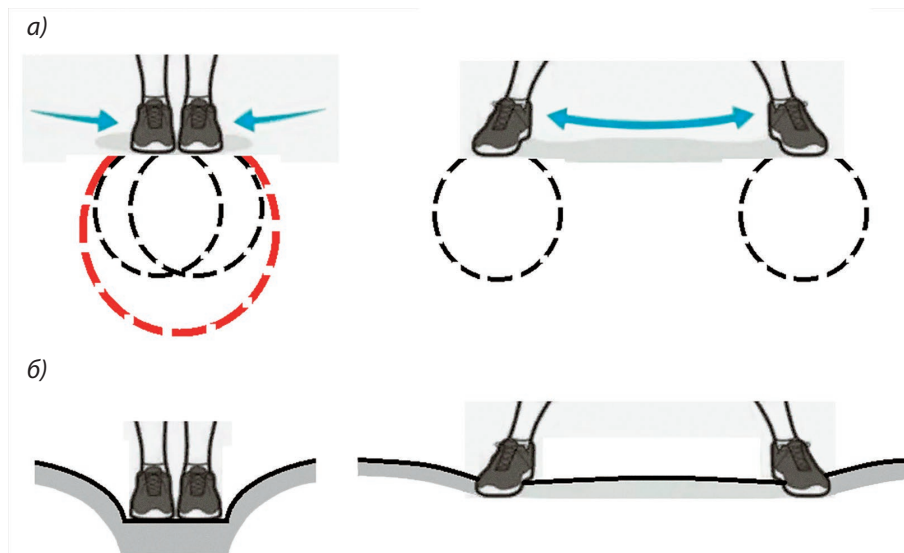


Рис. 1. Иллюстрация влияния раздвижки элементов фундамента на напряженное (а) и деформированное (б) состояние основания

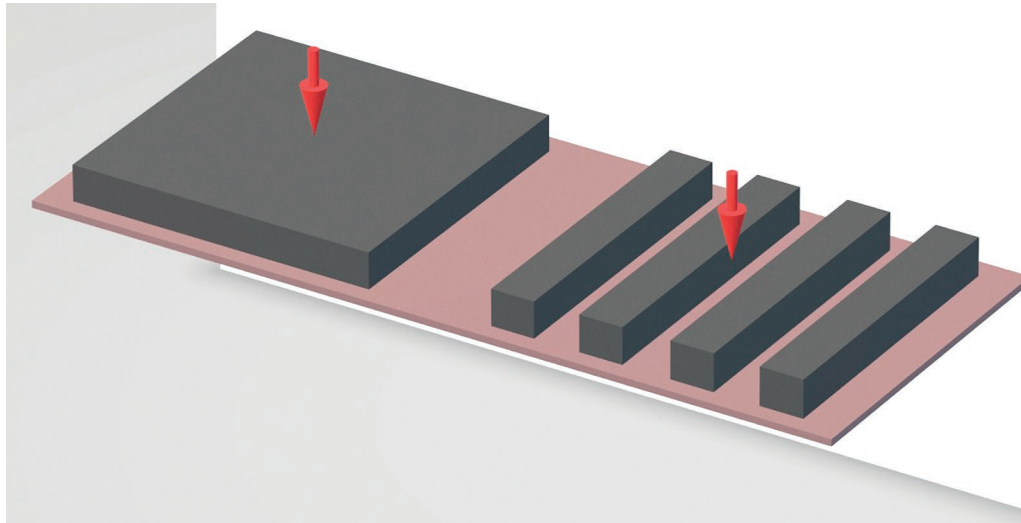


Рис. 2. Плитная и элементная схемы фундаментов

Таким образом, предлагается расчленил плитную часть фундамента на горизонтальные элементы и рассмотреть дискретную передачу нагрузки от горизонтальных элементов на грунт взамен сплошному контакту его с плитой (рис. 2).

Далее рассмотрим инструментальный и численный способы нагружения поверхности грунтового основания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ И РАСЧЕТНАЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ

В инструментальном способе модели грунтового основания и фундамента под-

вергаются испытанию в лотке со стеклянной стенкой. Деформации замеряются методом фотограмметрии с использованием оптического муарового эффекта. Он позволяет оценить угловые деформации в модели основания по естественному расстр, создаваемому зернистой структурой грунта, с получением остальных (осевых) компонент деформаций.

Одинаковая нагрузка, передаваемая на основание через жесткую плиту и два элемента равной общей площади, приводит к образованию не равных по глубине распространения зон уплотнения (рис. 3), размер и глубина развития которых при

равных нагрузках для элементного фундамента оказываются меньшими, чем для плитного варианта.

Расчетная реализация задачи предполагает нахождение величины центральной вертикальной нагрузки, вызывающей равную осадку плитного и элементного фундаментов. В качестве примера рассмотрены фундамент под опоры ВЛ типа Ф3-А с размером плиты 2,1×2,1 м и фундамент из четырех горизонтальных элементов сечением 0,35×0,35 м длиной 2,45 м, расположенных с просветом 0,35 м (рис. 4).

Для расчетов был принят грунт основания с модулем деформации $E = 20$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,35$. Фундаментам задана равная вертикальная осадка 3 см.

Требуемая вертикальная нагрузка при заданной равной осадке обоих фундаментов различна и определяется нахождением площади под графиками контактных давлений. Для принятых условий усилие вдавливания для плитного фундамента равно 80 тс, для элементного 97 тс. Таким образом, рассредоточение на грунте опорных элементов привело при заданной осадке к возрастанию несущей способности фундамента.

Наличие в грунтовом массиве скального подстилающего слоя на глубине 5 м от подошвы фундаментов повышает требуемое усилие вдавливания при заданной осадке 3 см для плитного и элементного фундаментов, соответственно, до 126 тс и 157 тс. Это означает, что снижение мощности сжимаемого слоя увеличивает эффект от рассредоточения элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Произведены расчеты плитных и элементных фундаментов при заданных равных осадках элементов и при равных давлениях по подошве.

При анализе контактных давлений по подошве фундаментов, вызвавших

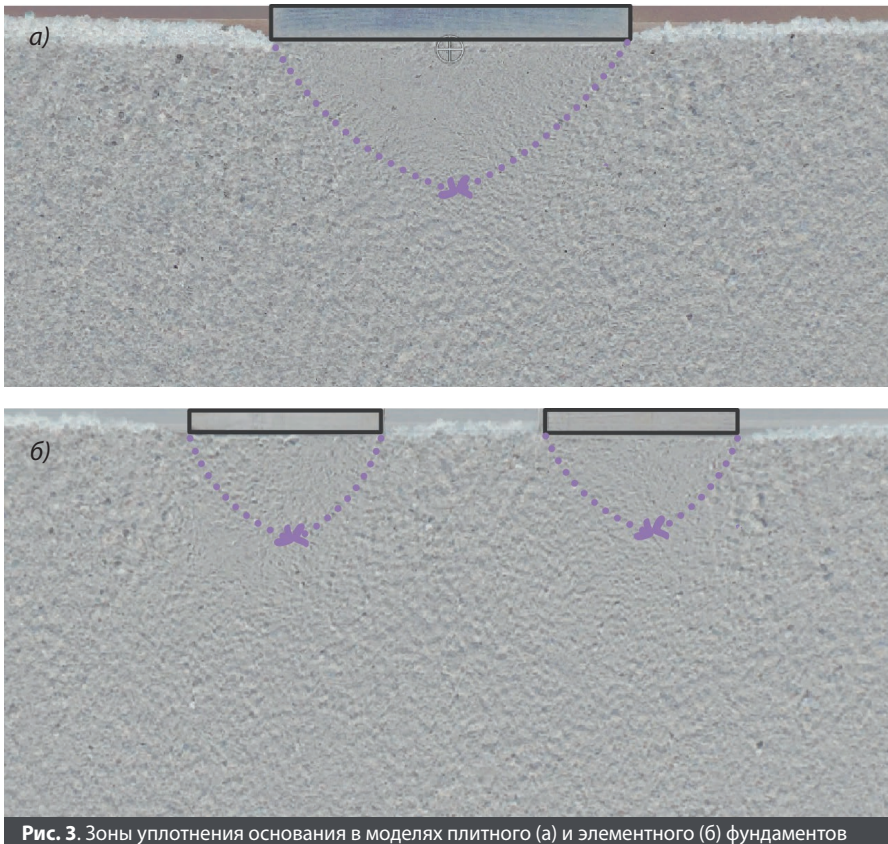


Рис. 3. Зоны уплотнения основания в моделях плитного (а) и элементного (б) фундаментов

заданную осадку, удобно переходить к понятию коэффициента постели C_b , равного отношению давления (кПа) по подошве к возникающей при этом осадке (см).

Рассмотрен случай равной осадки всех элементов на грунтовом основании с указанными ранее деформативными характеристиками. График на **рис. 5** показывает, что при раздвижке четырех блоков шириной 0,35 м от нуля, соответствующего их плотному смыканию в абсолютно жесткую плиту, до дистанции 1 м приводит к возрастанию коэффициента постели от 80 до 114 кПа/см.

Характерно то, что возрастание несущей способности произошло при одинаковой площади (нетто) опирания плитного и элементных фундаментов на грунт.

Анализ графиков контактных давлений на **рис. 4** показывает, что грунтовое основание под крайними элементами является перегруженным, по сравнению с плитным вариантом. В этом случае зоны максимальных напряжений под крайними элементами будут «подрезаны» предельными для грунта значениями давлений.

При задании граничных условий в виде постоянных давлений по подошве, равных 200 кПа, максимальная осадка при раздвижке элементов будет снижаться (**рис. 6**). Внутренние ряды оседают больше, чем внешние. Осадка при $d = 0$ м соответствует варианту фундамента в виде гибкой плиты, на подошве которой действуют постоянные по величине давления.

Как следует из полученных графических зависимостей, и в случае жесткого, и в случае гибкого элементных фундаментов прослеживается их преимущество перед плитной конструкцией. В «жестком» случае элементный фундамент имеет больший коэффициент постели, в «гибком» — меньшая осадка элементов, в сравнении с плитным вариантом. Характер работы реального фундамента конечной жесткости соответствует промежуточному положению между рассмотренными жестким и гибким случаями.

При точечной передаче нагрузки элементы будут подвергаться изгибу с возникновением изгибающих моментов, в зависимости от коэффициента постели основания (**рис. 7**).

Расчет плитных и элементных фундаментов опор ВЛ на вырывание может быть произведен по методике, изложенной в [2], расчет по деформациям численно возможен по методике [3].

При расчете по несущей способности определяющими являются объем, вес и площадь боковых граней тела выпирания, опирающегося подошвой на верхний обрус фундамента. Усеченная пирамида тела выпирания, характерная для плиты, приобретает в основании пилообразную форму при опирании на элементный фундамент (**рис. 8**).

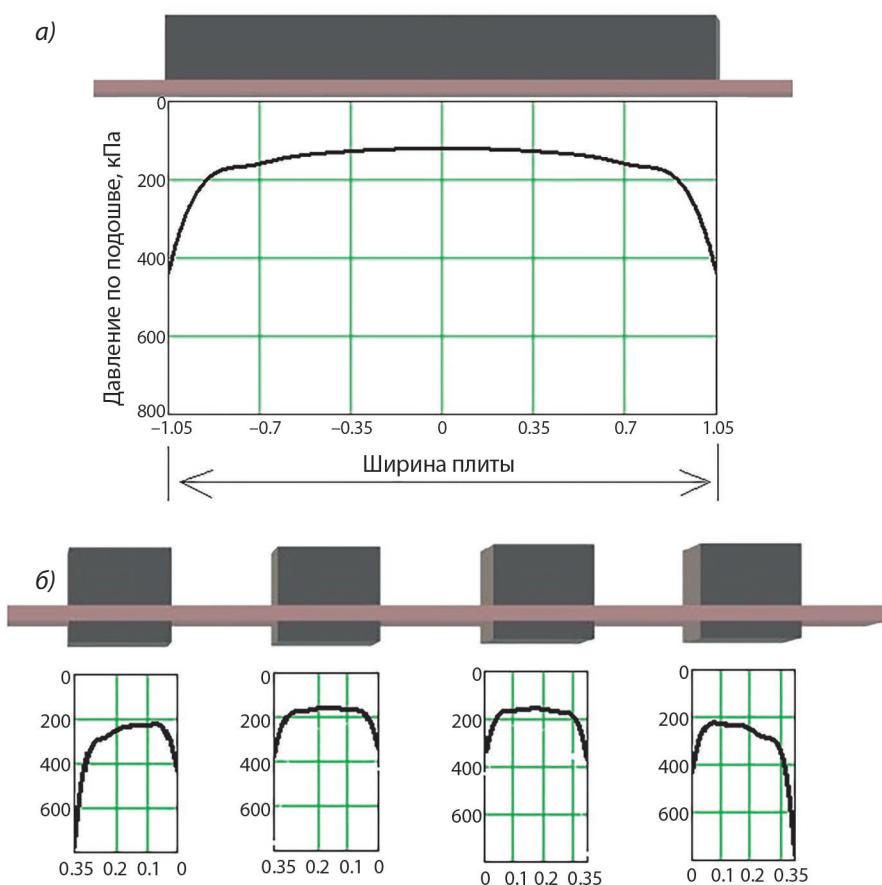


Рис. 4. Контактные давления по подошве плитного (а) и элементного (б) фундаментов при задании равной осадки

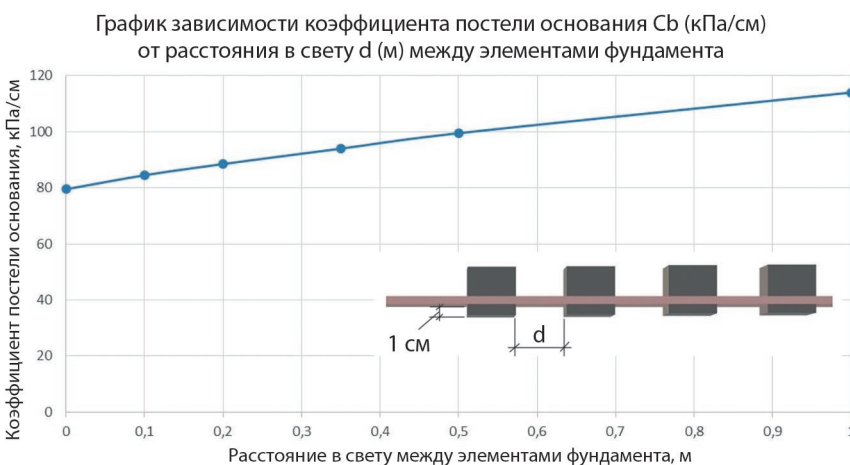


Рис. 5. Зависимость коэффициента постели от дистанции между элементами фундамента при их равной осадке

Потери объема тела выпирания при раздвижке элементов за счет клиновидных зон на его подошве компенсируются существенным приростом объема в верховой зоне. При качественном уплотнении грунта обратной засыпкой это дает существенное увеличение предельной выдерживаемой силы.

Клиновидные зоны, в свою очередь, увеличивают удельную поверхность тела выпирания и поверхностей сдвига, что усиливает роль характеристик прочно-

сти грунта обратной засыпки в предельной силе выдергивания.

Очевидно, что перспективным является взаимно перекрестное, ортогональное положение элементов, в результате которого фундамент приобретет крестовую либо ячеистую формы. Это позволит увеличить его геометрическую неизменяемость, жесткость и даст возможность эффективнее использовать при наличии горизонтальных составляющих внешней нагрузки.

График зависимости осадки S (см) от расстояния в свету d (м) между элементами фундамента

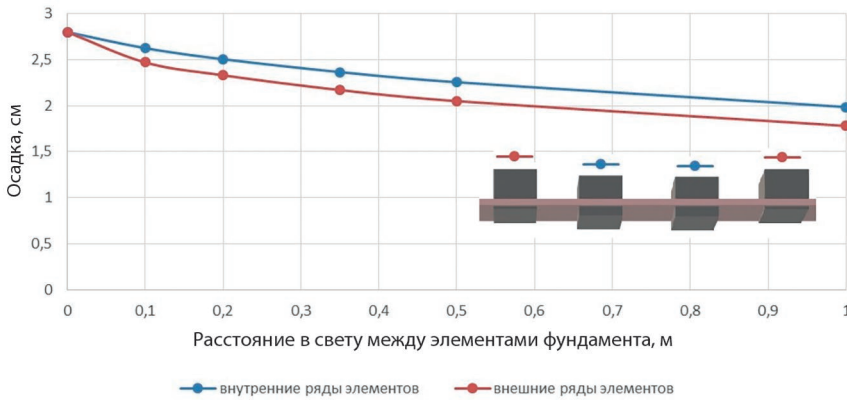


Рис. 6. Зависимость осадки от дистанции между элементами фундамента при равном давлении по подошве

Выводы

Элементные фундаменты опор ВЛ, работающие на знакопеременные нагрузки, имеют ряд преимуществ перед плитными. Рассредоточение элементов, передающих давление на грунт, приводит к снижению деформаций и увеличению несущей способности фундамента на сжимающие и выдергивающие нагрузки. При одинаковых параметрах напряженно-деформированного состояния основания плитных и элементных фундаментов последние приводят к экономии материалов и облегчению логистических задач при сооружении фундаментов. Применение в фундаментах опор высоковольтных линий конструкций из сборных элементов ведет к снижению объема и веса перевозимых с завода изделий.

Следующим этапом можно считать разработку конструктивного решения элементного фундамента из ортогональных элементов с решением вопроса об используемых в них материалах и конструкциях стыков элементов. ■

Список источников

1. Фундаменты под унифицированные металлические опоры ВЛ 35-330 кВ, серия 3.407-115.
2. СП22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83.
3. Козловский В. Е., Касаткина А. В. Расчет деформаций оснований выдергиваемых фундаментов опор ВЛ // Фундаменты. 2023. № 2 (12). С. 52–53.

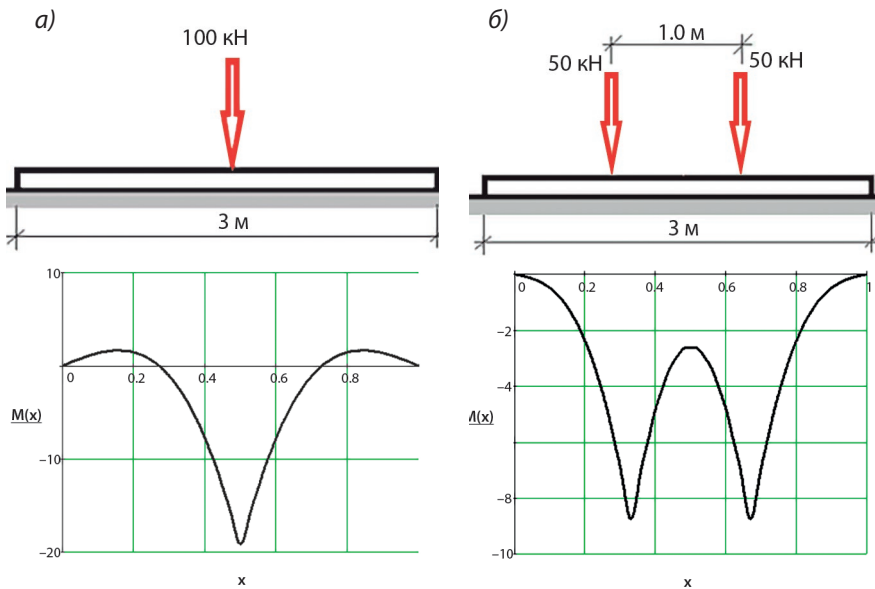


Рис. 7. Эпюры изгибающих моментов в элементе $0,35 \times 0,35 \times 3,0$ м при передаче нагрузки на него в одной и двух точках

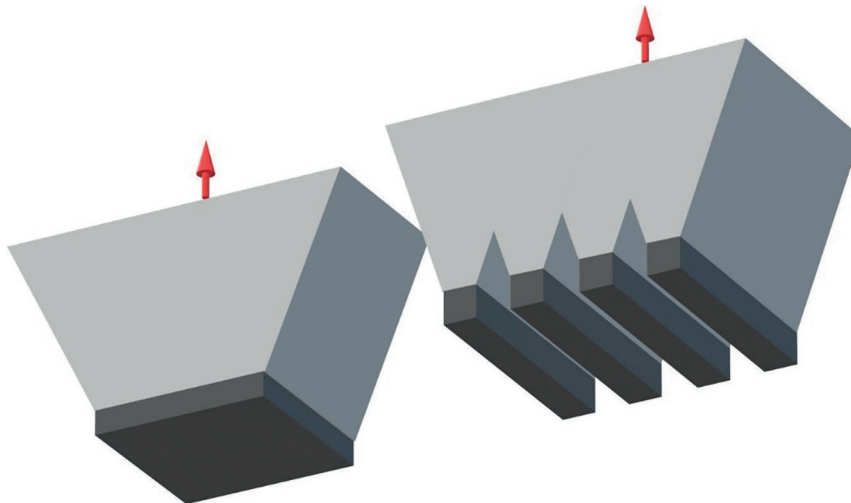


Рис. 8. Тела выпирания для плитного и элементного фундаментов