

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
РАБОТЫ СИСТЕМЫ «ФУНДАМЕНТ-ГРУНТ»**

А. И. Дьяков, М. И. Дьяков

*Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,
г. Симферополь (Россия)*

При исследовании силового взаимодействия фундаментов с грунтовым основанием существенное значение имеет определение четких временных границ процесса перераспределения напряжений после изменения внешней нагрузки, происходящих как в фундаменте, так и в грунтовом основании, и получение данных об изменении интенсивности трансформационных процессов во времени. В настоящее время решение данной задачи в основном осуществляется путем измерения многочисленных параметров в конструкции и основании.

Метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) заключается в измерении и анализе электромагнитных импульсов, которые способны генерироваться при протекании в диэлектриках определенных механоэлектрических процессов. Распространение метода получило при оценке напряженно-деформированного состояния горных пород. Однако исследования В.Н. Саломатина доказали, что область применения метода ЕИЭМПЗ может быть достаточно широкой. Использование ЕИЭМПЗ в процессе набора прочности и последующем разрушении бетона [1] показало, что, благодаря высокой чувствительности по отношению к импульсным электромагнитным волнам, прибор способен улавливать и регистрировать сложные процессы, протекающие в бетоне в стадиях набора прочности и нагружения.

Для выявления чувствительности прибора к изменению напряжений в грунтовом основании аналогичные предварительные исследования были сделаны авторами при нагружении песчаного основания металлическим штампом и железобетонными фундаментами. Показания прибора подтвердили его чувствительность к изменениям поля напряжений в грунте и конструкции. Трансформация напряженно-деформированного состояния системы «фундамент-грунт» на атомарном уровне приводят к изменению естественного электромагнитного поля, образуя при этом электромагнитное излучение, частотность которого зависит от характера процессов, протекающих внутри системы.

Цель исследования – выявление особенностей изменения напряженно-деформированного состояния системы «фундамент-грунт» после приложения нагрузки с помощью метода ЕИЭМПЗ.

Метод ЕИЭМПЗ был применен при изучении силового взаимодействия фундаментов с грунтовым основанием. Модели фундаментов размерами в плане 0,5х0,5 м с фрагментом колонны сечением 0,1х0,1 м имели различную толщину плиты и содержание рабочей арматуры. Испытания проводились в грунтовой лотке размерами 2,2х2,2х2,2 м, заполненном песком при однократных и малоцикловых нагружениях. Основные результаты исследований (за исключением описанных ниже) представлены в [2]. В опытах, помимо другого оборудования, использовался измерительный прибор ЕИЭМПЗ «Одонис-3», произведенный АО «Фиолент» (рис. 1). Антенна прибора размещалась у фрагмента колонны.



Рис. 1. Общий вид прибора «Одонис-3» и размещение антенн при испытании фундамента

Замеры импульсного электромагнитного поля проводились на всех циклах нагружения и разгрузки опытных образцов фундаментов. Регистрация электромагнитных сигналов выполнялась с заданными интервалами времени (30 секунд, 1; 2; 5; 10; 15; 20; 25 минут) после фиксирования внешней нагрузки. Последующее нагружение или разгружение фундамента проводилось после стабилизации показаний прибора, свидетельствовавших о завершении перемещений конструкции и перераспределения напряжений в системе «фундамент-грунт». В ходе всех экспериментов прослеживались устойчивые зависимости изменения импульсного электромагнитного поля от состояния системы, что позволяет в дальнейшем использовать метод для решения аналогичных задач.

Анализ опытных данных показал, что на этапе нагружения фундамента происходит увеличение уровня электромагнитных импульсов. После достижения нагрузкой необходимой ступени, в показаниях прибора происходят изменения во времени, зависящие от уровня внешней нагрузки на си-

стему и предыстории нагружений. Учитывая тот факт, что процесс перераспределения напряжений в грунте и фундаменте протекает не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени, изменение показаний прибора ЕИЭМПЗ в рассматриваемый промежуток времени можно ассоциировать непосредственно с данным процессом. Соответственно, изменение импульсных значений, определяемых ЕИЭМПЗ, позволяет выполнить привязку процесса изменения напряженно-деформированного состояния системы «фундамент-грунт» к масштабу времени.

График изменения показаний прибора ЕИЭМПЗ «Одонис-3», полученных на разных ступенях нагружения фундамента Ф-2-5, приведен на рис. 2.

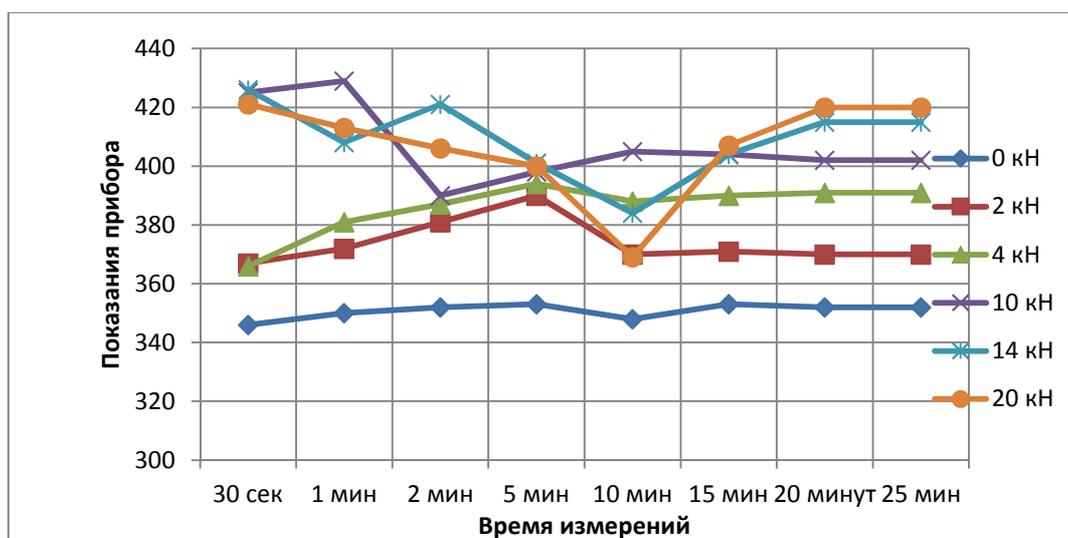


Рис. 2. График изменения показаний ЕИЭМПЗ во времени при выдержке нагрузки на разных этапах нагружения фундамента Ф-2-5: 0, 2, 4, 10, 14, 20 кН

В первые 5 минут после приложения к фундаменту Ф-2-5 нагрузки уровнем 2 кН наблюдалось увеличение количества электромагнитных импульсов, что свидетельствовало о повышении напряжений в системе «фундамент-грунт». Такая динамика показаний прибора объясняется запаздыванием напряжений по отношению к деформациям системы и неполным контактом подошвы с грунтом, формирующим повышенные контактные напряжения в отдельных точках. Последующее снижение показаний после 5-й минуты наблюдений связано с перемещениями грунта, обеспечивающими более полный контакт подошвы фундамента с грунтом и, соответственно, понижение уровня нормальных контактных напряжений. После 10 минут наблюдений происходило снижение электромагнитного поля и стабилизация показаний прибора, что объясняется остановкой процесса перераспределения напряжений в системе.

Близкие результаты измерений были получены при нагрузке 4 кН. Начальные показания прибора после повышения нагрузки до 4 кН практически совпадают с аналогичными показаниями на предыдущей ступени

нагрузки. Вместе с тем конечные показания прибора ЕИЭМПЗ после 20-ти минутной выдержки были выше, чем при нагрузке 2 кН.

Начальные показания прибора ЕИЭМПЗ при загрузке фундамента нагрузкой 10 кН были значительно выше, чем при уровне нагрузки 4 кН. На первом отрезке времени выдержки продолжительностью 1 минута показания прибора немного возросли, после чего наблюдалось их падение, связанное с перераспределением напряжений под подошвой фундамента и прогибом плитной части конструкции. На дальнейшем промежутке времени показания возросли и стабилизировались.

При уровне внешней нагрузки 14 кН показания прибора волнообразно снижались в течение первых 10-ти минут после нагружения, а далее в течение 10-ти минут увеличивались, не достигнув уровня первоначального значения. В отличие от ступени нагрузки 10 кН, падение показаний при рассматриваемой нагрузке происходило более длительный период. Аналогичные результаты получены при нагрузке 20 кН. Такое поведение системы на ограниченном промежутке времени после загрузки конструкции можно объяснить интенсивным развитием процессов наклонного и горизонтального перемещения частиц грунта от центральной части подошвы фундамента и выпором грунта у краевых зон конструкции. В данных условиях внешняя нагрузка на фундамент не скомпенсирована нормальными контактными напряжениями под подошвой, суммарный уровень которых ниже. Вследствие этого происходит интенсивный рост осадки фундамента. За счет постепенного уплотнения грунта его перемещения последующем замедлялись и наблюдалось дальнейшее увеличение напряжений в системе фундамент-грунт до достижения равновесного состояния.

Таким образом, на рис. 2 видно, что поведение системы «фундамент-грунт» после приложения нагрузки различной интенсивности существенно отличалось. При нагрузке небольшого уровня напряжения в системе первоначально росли, после чего происходило перераспределение и снижение их общего уровня. Соответственно, и показания прибора ЕИЭМПЗ сначала возрастали, после чего снижались. При более высоких уровнях нагружения в процессе выдержки нагрузки напряжения в системе «фундамент-грунт» первоначально снижались вследствие интенсивного перемещения частиц грунта и развития выпора. После определенного промежутка времени происходило уплотнение грунта под средней частью фундамента и начинался рост напряжений в системе. Далее происходила стабилизация напряжений и система занимала равновесное положение. Аналогичные результаты измерения были получены и при испытании других фундаментов.

На стадии разрушения фундаментов наблюдалось резкое уменьшение электромагнитных импульсов с увеличением дисперсии цифровых значений, что качественно сопоставимо с данными, полученными В. Н. Саломатиным при испытании бетонных кубиков на сжатие и доведении их до разрушения [1].

На рис. 3 представлен график изменения показаний ЕИЭМПЗ во времени на 1, 5 и 10 циклах нагружения фундамента Ф-4-5 нагрузкой 0,75 от разрушающей.

Как видно из рис. 3, с увеличением количества циклов нагружений происходило как общее уменьшение уровня электромагнитного излучения в процессе выдержки нагрузки, так и уровня излучения на этапе занятия системой фундамент-грунт равновесного положения. В рассматриваемом эксперименте снижение напряженного состояния системы по показаниям ЕИЭМПЗ составило на первом цикле 16 %, на пятом цикле – 15 %, а на десятом цикле – 12 %. Показания прибора ЕИЭМПЗ хорошо коррелируются с результатами измерения осадки и параметров напряженно-деформированного состояния фундамента Ф-4-5 [2]. Аналогичные данные получены при испытании других фундаментов на действие малоцикловых нагрузок.

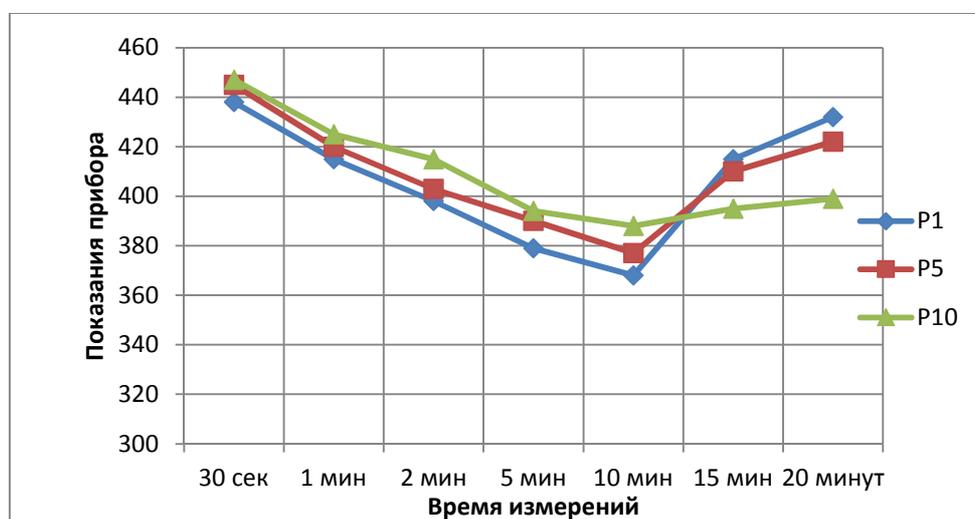


Рис. 3. График изменения показаний ЕИЭМПЗ во времени на этапах выдержки нагрузки при повторных нагружениях фундамента Ф-4-5. Уровень нагрузки 25 кН. P1, P5, P10 – 1, 5, 10 циклы нагружения соответственно.

Выводы

Использование в проведенных экспериментах методики ЕИЭМПЗ позволило определять временные границы и изменение уровня интенсивности перераспределительных процессов в системе «фундамент-грунт», обеспечить необходимую выдержку фундаментов под нагрузкой для завершения рассматриваемых процессов перед последующим нагружением.

Изменения напряженно-деформированного состояния системы «фундамент-грунт» после стабилизации внешней нагрузки продолжается на протяжении 15–25 минут.

Поведение системы «фундамент-грунт» после приложения нагрузки небольшой и более высокой интенсивности существенно отличается. При нагрузке небольшого уровня напряжения в системе первоначально растут, после чего происходит перераспределение и снижение их общего уровня.

При более высокой нагрузке напряжения в системе первоначально снижаются вследствие перемещения частиц грунта, развития выпора. После уплотнения грунта под средней частью фундамента начинается рост напряжений в системе «фундамент–грунт» до стабилизации напряжений при установлении равновесного положения.

Использование методики ЕИЭМПЗ позволяет подтвердить эффект уменьшения уровня напряжений в фундаменте и грунтовом основании после воздействия малоцикловых нагрузок.

Список литературы

1. Саломатин В. Н. Электромагнитные явления в гетерогенных твердых телах и решение ряда практических задач в строительстве // Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов. Симферополь : НАПКС, 2013. Вып. 46. С. 71–75.
2. Дьяков А. И. Учет перераспределения нормальных контактных напряжений под подошвой отдельно стоящих фундаментов при малоциклических нагрузках в расчете на продавливание // Строительная механика и расчет сооружений. М. : НИЦ «Строительство», 2015. № 6. С. 57–62.

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ СПЛОШНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Н. В. Купчикова, Г. Г. Иванов, А. С. Синицин

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань (Россия)

Неразрушающий экспресс контроль сплошности бетонных и железобетонных конструкций позволяет определять длину и дефекты в свае только на основе анализа рефлектограммы. Чтобы расширить возможности этого метода полученную рефлектограмму обрабатывают с помощью преобразования Фурье (рис. 1). По полученному спектру сигнала получаем дополнительную информацию как по длине сваи, так и по глубине расположения дефектов. Классическое преобразование Фурье имеет дело со спектром сигнала, взятым во всем диапазоне существования переменной. Нередко интерес представляет только локальное распределение частот, в то время как требуется сохранить изначальную переменную (обычно время). В этом случае используется оконное преобразование Фурье.

Использование скользящего оконного преобразования Фурье (спектрально-временной анализ) позволяет получать, исследовать и строить в виде спектрограмм динамические спектры и анализировать их поведение во времени. Спектрограмма строится в трех координатах: частота, время и амплитуда [1–3]. При этом амплитуда задается цветом или оттенком цвета каждого прямоугольника спектрограммы. Зная скорость распространения звука в бетоне можно преобразовать частоту колебаний в глубину.