

Корреляция результатов испытаний статической и динамической нагрузкой

Фото 1: Испытания статической нагрузкой

Автор: магистр, инженер Павел Матейко – ООО «Пилетест»

Сравнение результатов испытаний нагрузкой на примере одного из объектов Новохутской трассы в Кракове

Для применения результатов динамических испытаний необходимо провести соответствующую классификацию их результатов, в целях определения как предельной несущей способности, так и соответствующих коэффициентов безопасности. Такая корреляция должна выполняться всякий раз на строительстве при изменении грунтовых и технологических условий. В качестве референтного теста применяются испытания статической нагрузкой, которая, для правильного определения предельной несущей способности, должна выходить за пределы упругой работы свай. Этого иногда нельзя достичь из-за недостаточной несущей способности нагружающей конструкции. В таком случае возникает необходимость экстраполяции дальнейшего прохождения испытательной нагрузки, с учетом того, что зависимость «нагрузка – оседание» перед достижением максимальной несущей способности имеет многочленный или гиперболический тип. Корреляция результатов испытаний нагрузкой представлена в данной статье на примере одного из объектов Новохутской трассы в Кракове.

Геотехнические условия

Геотехнические условия в районе рассматриваемой опоры объекта представлены на рис. 1. В основании залегают плотные виды почвы (пыль, песчаная пыль, илистая глина) в мягко-пластичном и пластичном состоянии. На глубине около 5 м от поверхности планировки участка залегают илистые связные или полусвязные грунты, в этих слоях находится большая часть боковой поверхности и основания свай.

Рис. 1. Геология и геометрия свай и опоры.

Испытание статической нагрузкой как референтный тест

В данной статье представлен анализ результатов испытаний статической и динамической нагрузкой, проведенных для опоры дорожно-мостового объекта. Испытания статической нагрузкой проводились в соответствии с нормативом PN-83/B-02482 – «Фундаменты строительства. Максимальная нагрузка на сваи и фундаменты свай», согласно которому испытания следует проводить в два цикла, первый – до значения несущей способности свай, а второй – до значения силы, превышающей несущую способность свай в полтора раза. В проанализированном случае значение силы на 100% составило 4491 кН, в то время как максимальная нагрузка в ходе испытаний составила 6737 кН. Прохождение испытаний нагрузкой обозначено на рис. № 2 красным цветом. Затем на основании прохождения этой процедуры был составлен вспомогательный график в соответствии с принципами, установленными Польскими нормативами, и на его основании была определена предельная несущая способность свай $N_g = 9115$ кН. В результате дальнейших процедур по вышеупомянутому нормативу была определена допустимая нагрузка на сваи $k - N^0$, равная 5052 кН, и это значение послужило для расчета коэффициента безопасности для динамических испытаний.

Метод Дэвидсона

В методе Дэвидсона на основании статических испытаний и модели:

$$P = \frac{AE}{L} s \quad (1)$$

где: P – сила, Н
A – площадь опирания на грунт сваи, м²
E – модуль Юнга, Па
L – длина сваи, м
s – упругая деформация сваи, м

определяем силу, соответствующую полученной упругой деформации сваи (пунктир голубого цвета на рис. 2, которую затем переносим параллельно со значением, определенным по образцу:

$$x = 0,381 + 0,008D \quad (2)$$

где: D – диаметр испытываемой сваи, см
Пункт пересечения этой кривой с графиком испытаний статической нагрузкой определяет предельную несущую способность сваи.

Метод Чина

Метод Чина требует проведения испытаний нагрузкой, выходящей за пределы упругой работы сваи. Затем производится трансформация кривой «нагрузка – оседание» до модели $s - \text{отрезок}$ и $s/Q - \text{ордината}$ (рис. 3). Для последних пунктов испытаний после проведения аппроксимации используется зависимость по формуле $s/Q = A \cdot s = B$, из которой по формуле (3) производится расчет предельной несущей способности сваи.

$$N_g = \frac{1}{A} \quad (3)$$

Испытания динамической нагрузкой

Испытания свай динамической нагрузкой были проведены по методу свободного опускания молота, который опускался с разных высот от 0,5 до 2,0 м, по зафиксированной на головке сваи направляющей. Одновременно с ударами молота по головке сваи, в свае была вызвана волна напряжения, зарегистрированная с помощью тензометров и измерителей ускорения, зафиксированных на уровне ниже головки сваи.

Интерпретация результатов испытаний свай динамической нагрузкой производилась по методу CAPWAP, который заключается в анализе графиков сил и зависимости скорости от времени, полученных из измерений ускорения и напряжения в головке сваи, а также графиков сил и скорости, полученных в результате итерационных вычислений для соответствующим образом подготовленной модели: молот – свая – грунт. Автор не будет останавливаться на подробном описании метода, его можно найти во множестве других публикаций, в т.ч. Гвиздалы (2008), Бжозовского (2007), Рыбака (2008). Согласно с принятой методикой для испытаний объекта была определена предельная несущая способность N_D , а затем она сравнивалась с несущей способностью, определенной на основании испытаний статической нагрузкой, и таким способом вычислялся коэффициент безопасности для испытаний статической нагрузкой F .

$$F = \frac{N_D}{k \cdot N_c^0} \quad (4)$$

Корреляция результатов

На основании определенной в результате испытаний динамической нагрузкой эквивалентной статической кривой «нагрузка – оседание» (рис. 2), можно заметить большую близость значения смещений при нагрузке, равной расчетной несущей способности сваи 4491 кН, согласно с которой смещения, определенные статическими испытаниями, составили 1,57 мм, а смещения, оценочно определенные на основании динамических испытаний составляют 1,65 мм (разница 5%). Аналогично выглядит ситуация при сравнении значений предельной несущей способности, определенных в результате испытаний статической и динамической нагрузкой, и значений, рассчитанных по методу экстраполяции по Дэвидсону и Чину. Это сравнение приводится в таблице. В круглых скобках указана разница в процентах по отношению к значению N_g , определенному на основании статических испытаний.

Выводы

Представленный анализ показывает пригодность динамических испытаний для определения несущей способности фундаментных свай. Они также могут служить для проверки повторяемости их эксплуатационных свойств, что приводит к повышению надежности выполненных свайных работ, способствует увеличению темпов их выполнения, а также позволяет сократить расходы, необходимые для проведения испытаний, а, следовательно, повышает их доступность. Предельная несущая способность, определенная динамическими испытаниями, покрывается результатами испытаний статической нагрузкой и интерпретациями этих испытаний, проведенными по утвержденным методам (PN-83/B-02482, Дэвидсон и Чин). Однако, чтобы полученные результаты можно было рассматривать как достоверные, их необходимо соответствующим образом калибровать на основании проведенных ранее, в подобных условиях грунта и для данной технологии, статических испытаний в качестве референтного теста. Для анализируемого примера полученный коэффициент безопасности составил 1,73.

Рис. 2. Сравнение результатов испытаний статической и динамической нагрузкой и определение предельной несущей способности по методу Дэвидсона

Надписи на графике:

Смещение, мм

График «Нагрузка – оседание»

Эквивалент по результатам динамических испытаний

и статических испытаний

Рис. 3. Определение предельной несущей способности по методу Чина

Способ определения предельной несущей способности	PN-83/B-02482	Дэвидсон	Чин	САРВАР
N_g , кН	9115 (-)	9524 (5%)	10000 (8%)	8764 (3%)

Надписи на графике:

Податливость,
s/Q, мм/кН

Смещение, мм

Литература

- [1] Бжозовски Т. (2004) – Динамические испытания свай. Семинар «Проблемы оснований свайных фундаментов». Гданьск, 25.06.2004.
- [2] Бжозовски Т. (2007) – Динамические испытания несущей способности буронабивных свай в аспекте испытаний статической нагрузкой. Материалы 53 Научной конференции Комитета наземного и водного строительства Польской Академии наук и Комитета науки Польского Союза инженеров и техников-строителей, г. Крыница.
- [3] Chin F. K. (1971) – Estimation of the Ultimate Load of Piles Not Carried to Failure. Proceedings of 2nd Southcast Asian Conference of Soil Engineering, с. 81-90.
- [4] Davidson M.T. (1972) – High Capacity Piles. Proc. Soil Mechanics Lecture Series on Innovation in Foundation Construction, American Society of Civil Engineers. ASCE Illinois Section, Chicago.
- [5] Гвиздала К. (2008) – Динамические испытания свай. Материалы «Зимней школы механики орогенеза и геотехники», том 2, с. 139-149.
- [6] Гвиздала К., Блокус М. (2008) – Критерии отбора динамических образцов для анализа несущей способности свай в гидротехническом строительстве. Морское строительство и Геотехника, № 3/2008, с. 146-154.
- [7] Рыбак Й. (2008) – Определение предельной несущей способности свай в референтных исследованиях. Геотехника дорог, мостов, туннелей, № 03/2008, с. 34-37.
- [8] ASTM D4945-00. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.
- [9] PN-EN 1997-1:2008 – Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие положения.
- [10] Pn-B-02482:1983 – Фундаменты строения. Несущая способность свай и свайных фундаментов.