

Шведовский П.В., канд. техн. наук, проф.;
Пойта П.С., д-р техн. наук, проф.; Клебанюк Д.Н.
(БрГТУ, г. Брест)

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ И УЧЕТА ИЗМЕНЧИВОСТИ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ИХ УПЛОТНЕНИИ

В нормативных документах по поверхностному уплотнению грунтов тяжёлыми трамбовками [1], а также научно-технической литературе [2 – 5] не содержится конкретных рекомендаций по учету как вертикальной, так и горизонтальной изменчивости инженерно-геологических условий стройплощадок и характеристик уплотнённых грунтов при изменении их структуры.

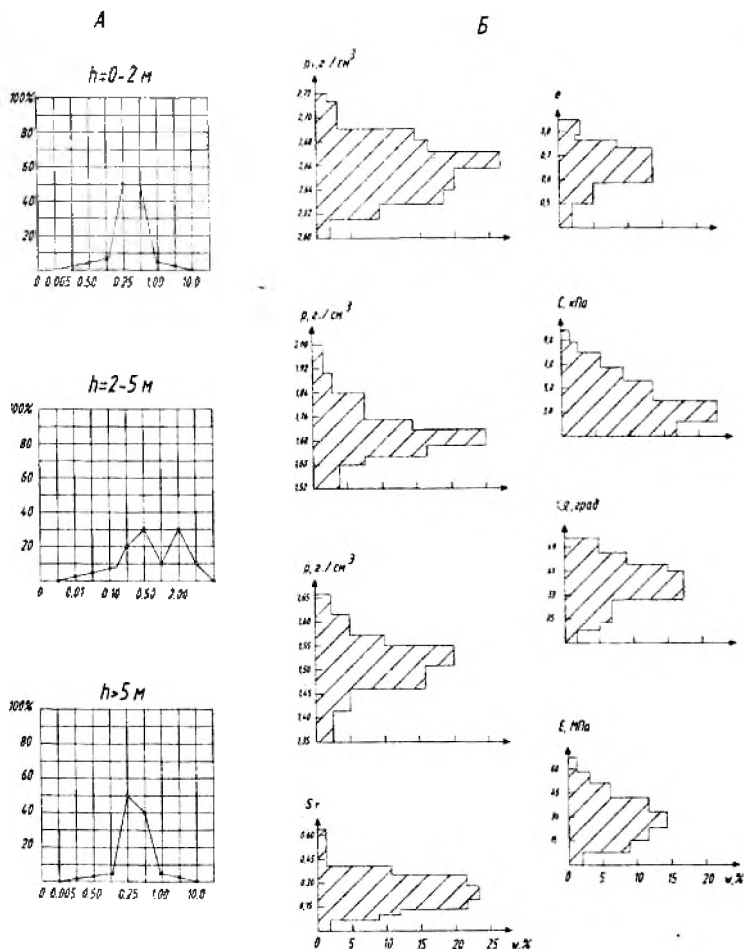
Так как оптимизация энергетических и материально-финансовых затрат обуславливает необходимость учета всех факторов, влияющих на предельную глубину, характер и степень уплотнения основания: конструктивно-технологических (масса и форма основания трамбовки, высота сбрасывания, число ударов, расстояния между отпечатками, число этапов повторного уплотнения и т.п.); геотехнических (физико-механических свойств грунтов, структуры, особенностей их залегания и т.д.), то достоверно оценить прогнозируемые значения прочностных и деформационных параметров уплотнённого грунта, без анализа изменчивости их свойств, практически невозможно.

Следует отметить, что в проектной практике расчетные характеристики грунтов являются средними величинами, независимо от устойчивости в пространстве их средних значений и дисперсий. А ведь в случае относительного постоянства по площади и по разрезу средних значений, при сильно изменяющихся дисперсиях, эффективно использование нормативных характеристик грунтов, но уже при сильно варьирующих средних значениях и более устойчивых характеристиках локальной неоднородности (дисперсии) их использование зачастую приводит к большим погрешностям в расчетах.

По инженерно-геологическим отчётам более чем для пятидесяти строительных площадок в г. Бресте и Брестской области были построены интегральные кривые гранулометрического состава и графики распределения (рисунок), позволившие сформировать гистограммы распределения характеристик строительных свойств песчаных грунтов. Их анализ позволяет отметить, что локальная изменчивость характеристик уплотнённых

грунтов подчиняется нормальному или логнормальному распределению, т.е. они являются случайными стохастическими величинами.

Это позволяет для оценки отклонений характеристик строительных свойств уплотненных грунтов от нормативных (средних) значений, которые можно выразить через дисперсию, рассматривать их как функцию положения и времени комплекса факторов для стохастических, стационарных в широком смысле, процессов в любой точке строительных площадок.



Интегральные кривые грансостава (А)
и графики распределения значений характеристик (Б) песчаных грунтов

То есть если $D = f(\overline{D}_\phi)$, а $\Pi = \phi(\overline{\Pi})$ – случайные функции (D – деформационные, Π – прочностные характеристики уплотненных грунтов), сформировавшиеся под воздействием случайных факторов, то их среднее значение определяется математическим ожиданием [7]:

$$D_\phi = H(\beta) D_\phi^0(t), \quad (1)$$

где $H(\beta)$ – коэффициент случайного воздействия комплекса факторов; β – дисперсионная постоянная и при $\beta \rightarrow 0$ $H(\beta) \rightarrow 1$, а при $\beta \rightarrow \infty$ $H(\beta) \rightarrow 0$.

Выражая дисперсию уравнением

$$\sigma^2(t) = E[h^2(x(t), t)] - \{E[h(x(t), t)]\}^2 \quad (2)$$

и представляя члены выражения через характеристические функции для стохастического стационарного процесса, имеем [7]:

$$\sigma^2(t) = V(\beta) [D_\phi^0(t)]^2, \quad (3)$$

при этом $V(\beta) = 0$ при $\beta = 0$, достигает максимума $V(\beta) = 0.141$ при $\beta = 1.12$ и $V(\beta) \rightarrow 0$ при $\beta \rightarrow \infty$.

Отсюда дисперсия изменения деформационно-прочностных характеристик от случайного влияния факторов –

$$\sigma^2(D_\phi^i) \leq 0.141 D_\phi^i \quad \text{и} \quad \sigma^2(\Pi_i) \leq 0.141 \Pi_i. \quad (4)$$

Расчеты также показывают, что при оценке характеристик уплотненных грунтов необходимо обосновывать и устанавливать доверительные пределы D_ϕ^i , а не использовать их средние значения, как делается в инженерной практике. Это обуславливает необходимость более чем 30-кратного определения D даже по площади распространения одного вида грунта (доверительная вероятность 95 %), что практически невыполнимо. Поэтому в основу оценки изменчивости свойств уплотненных грунтов должны ложиться как минимум два положения: первое – свойства определяются характером исходных грунтов и условиями их образования, а также характером последующих видоизменений; второе – распределение показателей не должно противоречить нормальному закону или, по крайней мере, приводиться к нормальному несложным преобразованием.

Рассмотрим особенности решения этой задачи, базируясь на создании формализованной модели неоднородного уплотненного грунтового массива, интерпретируя набор признаков-свойств, как точки \overline{x}_i в p -мерном

евклидовом пространстве (p — число признаков), где каждая точка $\bar{x}_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}\}$ соответствует одному экспериментальному определению этого набора. Такая интерпретация согласно [7] очень удобна и позволяет привлечь к решению задачи существующие методы классификации многомерных наблюдений: факторного анализа, кластер-анализа и т.п.

Анализ построенных гистограмм (кривых плотностей неоднородных распределений) показал, что на основании свойств формализованной модели [7] физико-механические характеристики уплотненных грунтов в пределах неоднородных массивов можно определить, как выборку из конечного набора p -мерных нормальных распределений с плотностью

$$f(x) = \sum_{q=1}^r \alpha_q \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_q} \cdot \exp \left[-\frac{(x - a_q)^2}{2\sigma_q^2} \right], \quad (5)$$

где r — число однородных нормальных совокупностей (число однородных элементов в массиве); α_q — доля q -й совокупности.

Выделить однородные составляющие, имеющие такую плотность распределения, можно через построение гистограмм, являющихся эмпирическим аналогом плотности $f(x)$ вспомогательной функции [7]:

$$\psi(x_j) = \ln q(x_{j+1}) - \ln q(x_j) \quad (j = 1, 2, \dots, m-1). \quad (6)$$

При этом во всех случаях разнесение индивидуальных значений по нормальным совокупностям порождает необходимость «геометрического» расчленения уплотненного грунтового массива, которое можно использовать и для вычисления прогнозных характеристик, определяемых данным свойством грунта.

Очевидно, однако, что в некоторых случаях следует ожидать весьма «пестрого» расположения квазиоднородных элементов в уплотненном массиве, которое невозможно учесть предложенными методами. В таких случаях приемлемо его расчленение по каждому из свойств отдельно с последующим сопоставлением результатов.

Однако нужно помнить, что полученные оценки параметров нормальных составляющих можно использовать лишь для процедуры выделения квазиоднородных элементов в уплотненном массиве, а нормативные и расчетные значения характеристик следует вычислять стандартными методами после его расчленения.

Выводы

Проведенные исследования показывают, насколько важно для проектной практики выявление взаимосвязей характеристик грунтов с комплексом формирующих факторов и их изменчивостью хотя бы с достоверной вероятностью не менее 75 %.

При этом достаточно эффективным приемом определения достоверных расчетных значений характеристик грунтов является выделение однородных составляющих и квазиоднородных элементов в грунтовых массивах, что позволяет локальную изменчивость строительных свойств грунтов описать с высокой достоверностью простыми статистическими методами, так как распределение показателей большинства характеристик подчиняется нормальному или логнормальному законам распределения.

Литература

1. Грунтовые основания, уплотнённые тяжёлыми трамбовками. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-107-2007 (02250). – Введ. 08.09.2008. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 33 с. Технический кодекс установившейся практики.
2. Бондаренко, Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород / Г.К. Бондаренко. – М.: Недра, 1971. – 198 с.
3. Боровко, Н.Н. Статистический анализ пространственных закономерностей / Н.Н. Боровко. – Л.: Недра, 1971. – 273 с.
4. Бондарик, Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород / Г.К. Бондарик. – М.: Геолиздат, 1971. – 206 с.
5. Бусел, И.А. Прогнозирование строительных свойств грунтов / И.А. Бусел. – Минск: Наука и техника, 1989. – 219 с.
6. Родионов, Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков / Д.А. Родионов. – М.: Недра, 1968. – 206 с.
7. Шведовский, П.В. Особенности оценки и прогноза изменчивости строительных свойств грунтов геомассива в пределах строительных площадок / П.В. Шведовский, П.С. Пойта, Д.Н. Клебанюк // Вестн. БрГТУ – 2012. – № 1 (73): Строительство и архитектура. – С. 82 – 85.