

## К ПРОГНОЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ ТРАМБОВКАМИ

Д.Н.Клебанюк, П.С.Пойта, П.В.Шведовский

Опыт проектирования искусственных оснований методами интенсивного ударного уплотнения показывает, что повышение экономичности принятых решений, снижение трудоёмкости при их устройстве может быть достигнуто как за счёт совершенствования конструктивных, так и технологических параметров, определяющих выбранную технологию. Правильно выбранные конструктивно-технологические параметры позволяют получить качественное основание при минимальных энергозатратах для любых инженерно-геологических условий, а следовательно, снизить сроки строительства и стоимость работ [1].

В общем случае задача прогноза эффективности уплотнения состоит в установлении зависимости глубины уплотнения ( $H_{yn}$ ) до требуемой плотности сухого грунта ( $\rho_d$ ) при заданной обеспеченности ( $\rho\%$ ) от параметров уплотнения (массы ( $M$ ) и радиуса ( $R_0$ ) трамбовки, скорости удара ( $V_0$ ), числа ударов ( $n$ ) по площади ( $S$ ) при известной постоянной исходной плотности ( $\rho_d^0$ ) грунта и его влажности ( $w$ ), т.е.

$$H_{yn} = f(\rho_d, \rho_d^0, M, R_0, V_0, n, S). \quad (1)$$

Наиболее широко распространенной для определения  $H_{yn}$  является методика термодинамики для случая распространения ударных волн в грунте, как упругопластичной среде и для случая асимметричного удара по грунту расчетная формула имеет вид [2] –

$$H_{yn} = \bar{\kappa} \cdot (M \cdot g \cdot H) \cdot \mu^{-0.5}, \quad (2)$$

где  $\bar{k}$  и  $\mu$  - константы, характеризующие характеристики уплотняемых грунтов, определяемых эмпирическим методом;  $M$  - масса трамбовки, т;  $H$  - высота сбрасывания, м;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с.

В зависимости от особенностей технологии уплотнения и инженерно-геологических условий зоны уплотнения на практике выполняются по следующим зависимостям:

- энергия удара -  $H_{yn} = \alpha \sqrt{M \cdot g \cdot H}$ ;
- по диаметру рабочей поверхности трамбовки -  $H_{yn} = k \cdot d_{mp}$ ;
- по удельному импульсу трамбовки -  $H_{yn} = 1.1 \cdot B_{min} \cdot \frac{W}{W_0} \cdot \left( 1 - e^{-3.7 \frac{i}{i_p}} \right)$ ;
- по скорости ударной волны -  $H_{yn} = \frac{M}{\rho_{max} \cdot A} \cdot \left[ -1 + \left( \frac{\sigma_e + \alpha_{\Delta} \cdot v_0^2}{\sigma_e} \right)^{1/2} \right]$ ,

где  $d_{mp}$  - диаметр трамбовки, м;  $\alpha$  - эмпирический коэффициент изменяющийся в пределах  $0,45 \leq \alpha \leq 1,0$ ;  $k$  - эмпирический коэффициент изменяющийся в пределах  $1,2 \leq k \leq 1,55$ ;  $B_{min}$  - минимальный размер трамбовки в плане, м;  $i$  и  $i_p$  - соответственно едельный импульс трамбовки и предельный удельный импульс;  $W$  и  $W_0$  - соответственно естественная и оптимальная влажность грунта, %;  $A$  - площадь трамбовки,  $m^2$ ;  $\sigma_e$  - вертикальное напряжение на пределе упругости, кПа;  $\rho_{max}$  - максимальная возможная плотность грунта,  $t/m^3$ ;  $v_0$  - скорость ударной волны,  $m/s$ ;  $\alpha_{\Delta}$  - коэффициент динаминости.

Анализ вышеприведенных прогнозных зависимости чётко определяет наличие связи конструктивно-технологических параметров трамбовки и особенностей процесса уплотнения и грунтовых условий уплотняемого массива [3].

Для выявления этих связей нами по имеющимся экспериментальным данным были построены графики связи глубин эффективного уплотнения в зависимости от конструктивно-технологических параметров и грунтовых условий уплотняемого массива и определены соответствующие расчётные зависимости. Коэффициент

корреляции по всем параметрам и условиям более 0,97, что позволяет отметить достоверность связей.

Анализ графиков связи позволил построить гистограмму (рис. 1) влияния анализируемых параметров и условий, определяющую эффективную глубину зоны уплотнения

$$H_{yn} = C \cdot \left( \frac{M \cdot v_0}{A} \right) \cdot \sqrt{n}, \quad (3)$$

где  $C$  - параметр чувствительности грунта к динамическому воздействию:

$$C = \frac{1,8 \cdot \lambda^{0,04} \cdot e_0^{1,93}}{\rho^{0,56} \cdot M^{0,3} \cdot P^{0,53}}.$$

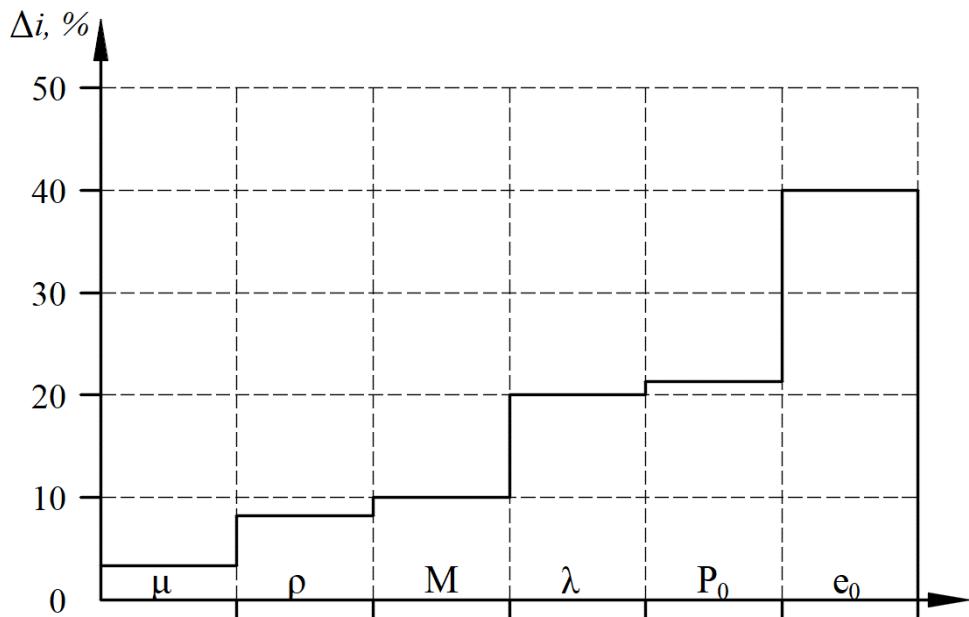


Рисунок 1 - Гистограмма влияния параметров и условий на глубину эффективного уплотнения:  $\lambda$  - модуль объёмной деформации;  $\rho$  - естественная плотность;  $M$  - масса трамбовки;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $P_0$  - давление предварительной консолидации до уплотнения;  $e_0$  - начальный коэффициент пористости

На основании экспериментальных и прогнозных данных составлена сводная таблица наиболее рациональных взаимозависимостей глубины уплотнения грунтовых массивов от конструктивно-технологических параметров и грунтовых условий (табл. 1).

Таблица 1 - Взаимосвязи с конструктивно-технологическими параметрами и грунтовых условий

№№ п/п	Массы трамбовки $M$ , т	Диаметр трамбовки, $d_{mp}$ , м	Высота сброса, $H$ , м	Число ударов по одному следу, $n$	Глубина отпечатка, $h_{omn}$ , м	Толщина уплотняемого слоя, $H_{up}$ , м	
						Глинистые грунты	Песчаные грунты
1	2	3	4	5	6	7	8
1	до 2,5	до 1,2	6 – 8	12 – 14	до 2,0	до 2,0	до 2,2
2	2,5 – 3,5	1,2 – 1,6	6 – 8	12 – 14	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5	2,2 – 2,5
3	3,5 – 5,5	1,6 – 1,8	6 – 8	12 – 14	2,5 – 3,0	2,5 – 3,0	2,5 – 3,5
4	5,5 – 6,5	1,8 – 2,0	6 – 8	12 – 14	3,0 – 4,5	3,0 – 4,5	3,5 – 4,8
5	6,5 – 10	2,0 – 2,4	8 – 10	10 – 12	4,5 – 6,0	4,5 – 6,0	4,8 – 6,9
6	10,0 – 15,0	2,4 – 3,5	8 – 10	8 – 10	> 6,0	> 6,0	> 7,0

## Заключение

Произвольный выбор конструктивных параметров тяжёлых трамбовок и не учёт технологических особенностей и закономерности динамики уплотнения грунтов не позволяет зачастую достичь однородности уплотнения и требуемых деформационных характеристик уплотняемого грунтового основания.

Трудности достоверной оценки контрольных значений прочностных характеристик грунтов и глубины уплотнения, не прибегая к анализу изменения напряжённо-деформационного состояния грунтового массива, зачастую не позволяют осуществить оперативную корректировку технологических параметров на стадии производства работ

## Список цитируемых источников

1. Клебанюк, Д.Н. Особенности выбора технологических параметров при уплотнении грунтовых оснований тяжёлыми трамбовками / Д.Н.Клебанюк. П.С.Пойта, П.В.Шведовский // Вес. Брестского гос. техн. ун-та - 2013 - № 1 (79) : Строительство и архитектура. – С. 77-61.

2. Пойта, П.С. Особенности формирования зоны уплотнения грунтов при уплотнении грунтового основания тяжелыми трамбовками [Текст] / П.С. Пойта, П.В.Шведовский, Д.Н.Клебанюк // Перспективы развития новых технологий в

строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь. - 2012. - С. 189-196.

3. Шведовский, П.В. Влияние конструктивных особенностей формы подошвы тяжелых трамбовок на формирование свойств грунтов в зоне уплотнения [Текст] / П.В. Шведовский, П.С. Пойта, Д.Н. Клебанюк // Строительство и архитектура. - 2013. - №1. С. 20-23.