

УДК 693.542.33 (088.8)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Маслов А.Г., Иткин А.Ф.

Кременчугский государственный политехнический университет

Введение. В соответствии с рекомендациями НИИЖБа [1], в настоящее время в качестве оценки эффективности вибрационного уплотнения цементобетонных смесей используются ускорение $A W^2$ или интенсивность вибрации $A^2 W^3$, где A и w - амплитуда и угловая частота колебаний). Однако, эти показатели не определяют однозначно эффективность вибрационного процесса уплотнения, поскольку они носят, в основном, эмпирический характер. Они не позволяют определить нарастание и достигаемые значения плотности бетона, необходимую продолжительность и энергоемкость процесса уплотнения цементобетонных смесей.

Цель работы. Основной целью настоящей работы является определение энергоемкости процесса уплотнения на основе изучения процесса упруго-вязко-пластического деформирования уплотняемого слоя цементобетонной смеси.

Материал и результаты исследования. Зависимость относительной пластической деформации уплотняемой цементобетонной среды от прикладываемой нагрузки может быть описана видоизмененным эмпирическим законом Герстнера [2, 3]

$$e = b P^n, \tag{1}$$

где e - величина относительной пластической деформации; P - нагрузка (давление); b и n - эмпирические коэффициенты, характеризующие упруго-пластические деформации с учетом динамичности нагружения.

Аналогичной зависимостью определится максимальная относительная величина пластической деформации e_k , при которой достигается полное уплотнение цементобетонной смеси, т.е.

$$e_k = b P_k^n, \tag{2}$$

где P_k - величина динамической нагрузки, при которой достигается необходимая плотность цементобетонной смеси.

На рис.1 показана схема пластического деформирования цементобетонного слоя при действии динамической нагрузки P . Здесь H_0 и H_k - высота уплотняемого слоя в неуплотненном состоянии при плотности r_0 и в уплотненном состоянии при окончательном значении плотности r_k ; H - промежуточное значение высоты уплотняемого слоя при плотности r . Поскольку при деформировании цементобетонного слоя его масса

m остается неизменной, то значения длин H_0, H, H_k можно представить в следующем виде:

$$H_0 = \frac{m}{S r_0}; \quad H = \frac{m}{S r}; \quad H_k = \frac{m}{S r_k}, \tag{3}$$

где S - площадь основания цементобетонного слоя.

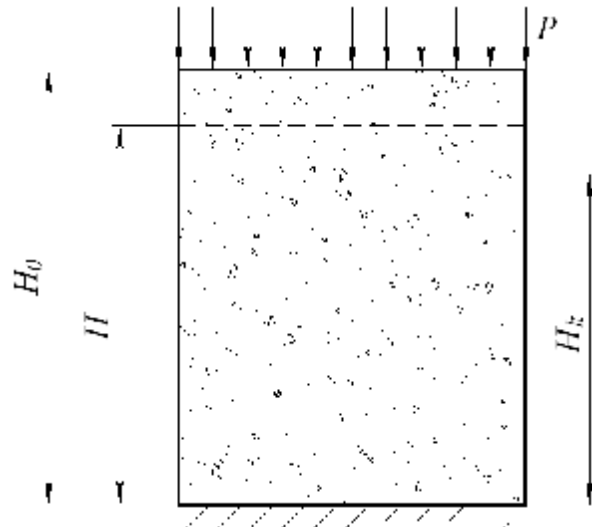


Рисунок 1 - Расчетная схема пластического деформирования цементобетонного слоя

На основании рис.1 и выражений (3) представим величины относительных пластических деформаций e и e_k в следующем виде:

$$e = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{H_0 - H}{H_0} = \frac{r - r_0}{r}; \tag{4}$$

$$e_k = \frac{\Delta H_k}{H_0} = \frac{H_0 - H_k}{H_0} = \frac{r_k - r_0}{r_k}. \tag{5}$$

Подставляя выражения (4) и (5) в зависимости (1) и (2), получим

$$\frac{r - r_0}{r} = b P^n; \tag{6}$$

$$\frac{r_k - r_0}{r_k} = b P_k^n. \tag{7}$$

Разделим выражение (6) на (7) и после несложных преобразований получим уравнение для определения плотности уплотняемой цементобетонной смеси в зависимости от величины прикладываемой динамической нагрузки:

$$r = \frac{r_0}{1 - e_k \left(\frac{P}{P_k} \right)^n} \quad (8)$$

Динамическую нагрузку, действующую в процессе вибрационного уплотнения цементобетонной смеси, можно выразить через интенсивность динамической нагрузки I_∂ и продолжительность ее воздействия t [3], т.е.

$$P = I_\partial t = S_{\text{экв}} f_i t, \quad (9)$$

где $S_{\text{экв}}$ - эквивалентное напряжение, действующее в уплотняемом слое; f_i - частота динамических импульсов.

При гармонических колебаниях частота динамических импульсов равна $f_i = 0,5p/w$.

В процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что показатель степени n можно принять для жестких и пластичных цементобетонных смесей равным [3]

$$n = 0,5 e_k. \quad (10)$$

На основании выражений (9) и (10) уравнение (8) преобразуется к следующему виду

$$r = \frac{r_0}{1 - e_k \left(\frac{S_{\text{экв}} f_i t}{P_k} \right)^{e_k/2}} \quad (11)$$

Таким образом, получена теоретическая зависимость, позволяющая описать закон нарастания плотности цементобетонной смеси при вибрационном ее уплотнении в зависимости от физико-механических характеристик уплотняемой среды, вида, направления и продолжительности вибрационного воздействия, частоты и величины импульсных напряжений цементобетонной среды.

Необходимую продолжительность вибрационного воздействия для достижения определенной плотности r в зависимости от вида вибрационного воздействия можно определить из выражения (11):

$$t = \frac{P_k}{S_{\text{экв}} f_i} \left(\frac{r - r_0}{r e_k} \right)^{2/e_k}; \quad (12)$$

Интенсивность вибрационного воздействия необходимо выбирать таким, чтобы общая продолжительность вибрационного воздействия на бетонную смесь не превышала 40 – 60 секунд при формовании изделий из пластичных цементобетонных смесей и 180 – 200 секунд при формовании изделий из жестких смесей.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные величины относительной пластической деформации e_k тяжелых бетонных смесей, полученные при различной их консистенции. С доста-

точной степенью точности эти экспериментальные данные можно представить в виде линейной зависимости. Максимальные расхождения теоретических и экспериментальных данных в этом случае не превышают 6 – 8%. Гранулометрический состав цементобетонных смесей, для которых получены экспериментальные данные, приведен в таблице 1.

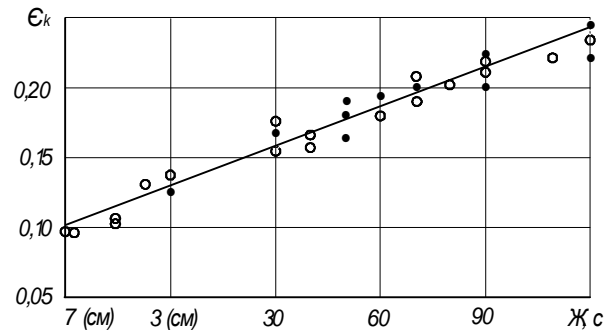


Рисунок 2 - Изменение величины относительной пластической деформации цементобетонных смесей в зависимости от консистенции цементобетонных смесей: ○ - экспериментальные данные при водоцементном отношении В/Ц = 0,4 – 0,48; ● - экспериментальные данные при водоцементном отношении В/Ц = 0,57 – 0,69

В таблице 2 приведены значения физико-механических характеристик цементобетонных смесей различной консистенции и величины динамической нагрузки P_k , при которых достигается необходимая (требуемая технологическими нормами) плотность бетона в зависимости от консистенции уплотняемой смеси.

Коэффициент полезного действия вибрационной машины определим как отношение энергии уплотнения, которая расходуется только на формирование уплотняемого слоя смеси, к энергии, которая потребляется вибрационной машиной за весь цикл уплотнения этого слоя смеси, т.е.

$$h = \frac{W_{yn}}{W_{в.м}}, \quad (13)$$

где W_{yn} - энергия вибрационного уплотнения определенного объема смеси; $W_{в.м}$ - энергия, потребляемая вибрационной машиной за весь цикл уплотнения.

Энергия вибрационного уплотнения определится из следующей зависимости

$$W_{yn} = FH \int_0^{e_k} P(e) de, \quad (14)$$

где $P(e)$ - функция динамической нагрузки от относительной плотности цементобетонной смеси e , полученная из выражения (8),

$$P(e) = P_k \left(\frac{e}{e_k} \right)^{2/e_k}. \quad (15)$$

Подставляя функцию (15) в выражение (14), определим значение энергии вибрационного уп-

лотнения в зависимости от консистенции цементобетонной смеси

$$W_{yn} = SH P_k \frac{e_k^2}{e_k + 2} \quad (16)$$

Энергия, потребляемая вибрационной машиной за полный цикл уплотнения цементобетонного слоя смеси, будет складываться из работы, затрачиваемой на трение в подшипниках качения вибровозбудителя колебаний W_{mp} , и работы, затрачиваемой на поддержание колебаний динамической системы виброплощадки $W_{кол}$, т.е.

$$W_{в.м} = (W_{mp} + W_{кол}) / h_{np} \quad (17)$$

где h_{np} - коэффициент полезного действия при вода вибровозбудителя колебаний;

$$W_{mp} = 0,5Q f_{mp} dwt \quad (18)$$

$$W_{кол} = \frac{2m_{np}Aw t}{p} \quad (19)$$

A - амплитуда колебаний вибрационной машины; Q - амплитуда возмущающей силы вибровозбудителя колебаний; f_{mp} - коэффициент трения в подшипниках качения вибровозбудителя колебаний; m_{np} - приведенная масса колеблющейся части динамической системы вибровозбудителя колебаний; t - продолжительность вибрационного воздействия, определяемая зависимостью (12).

В таблице 2 также приведены значения энергии вибрационного уплотнения W_{yn} стандартного образца $0,2 \times 0,2 \times 0,2$ м в зависимости от физико-механических характеристик цементобетонной смеси.

Таблица 1 - Содержание минеральных компонентов и воды, входящих в цементобетонную смесь (кг на 1 м³ бетона)

№ п/п	Наименование компонентов смеси	Содержание входящих в цементобетонную смесь компонентов, кг/м ³	
		В/Ц=0,4 – 0,48	В/Ц=0,57 – 0,69
1.	Гранитный щебень фракции 5-20 мм	1200	1230
2.	Песок с модулем крупности $M_{кр} = 1,8 - 2$	620	710
3.	Портландцемент М – 400	412	290
4.	Вода, л	170 - 200	170 - 200

Таблица 2 - Значения физико-механических характеристик

№ п/п	Значения показателей	Консистенция цементобетонной смеси, с (см)				
		3,5 – 4,0 (см)	30	60	90	120
1.	Плотность смеси в неуплотненном состоянии Γ_0 , гр/см ³	2,095	2,015	1,95	1,89	1,83
2.	Плотность смеси в уплотненном состоянии Γ_k , гр/см ³	2,4	2,4	2,41	2,42	2,42
3.	Динамический модуль упругой деформации E_0 , МПа	5,0	4,22	3,53	2,86	2,3
4.	Относительная пластическая деформация e_k	0,127	0,16	0,19	0,219	0,243
5.	Значения динамической нагрузки P_k , МПа (кг/см ²)	20,4 (200)	41,8 (410)	67,3 (660)	95,8 (940)	121,3 (1190)
6.	Энергия вибрационного уплотнения W_{yn} , Дж (кгм)	1191,7 (121,5)	3832,7 (390,7)	8613,3 (878,0)	15945,9 (1625,0)	24739,7 (2521,9)

Выводы. Получены теоретические выражения для определения нарастания плотности, продолжительности и энергоёмкости вибрационного воздействия в зависимости от величины и вида динамической нагрузки, позволяющие обосновать режимы вибрационного воздействия и определить основные параметры вибрационной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по вибрационному формированию железобетонных изделий / НИИЖБ Госстроя СССР. М., 1986. – 47 с.

2. Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К. и др. Инженерные методы исследования ударных процессов. – М.: Машиностроение, 1997. – 240 с.

3. Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Теоретические основы вибрационного уплотнения цементобетонных смесей. //Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип.. 5/2004 (28). – с. 45 – 49.

Статья поступила 15.03.06 г.