

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ПОДОШВЕ ТРАМБОВКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПЛОТНЕНИЯ

Тугаенко Ю.Ф. Гайдас О.Л. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведены результаты исследований параметров, оказывающих влияние на уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками.

Работа выполнена в соответствии с Одесской областной программой „Региональна ініціатива”, и посвящена изучению параметров повышающих эффективность уплотнения грунта тяжелыми трамбовками.

Уплотнение грунтов является одним из новых направлений при устройстве фундаментов, снижающих их деформативные свойства. В лёссовых грунтах методами уплотнения устраняются просадочные свойства. Начиная с 60-х годов прошлого столетия, разработаны, исследованы и нашли применение в строительстве несколько способов уплотнения грунтов. К одному из них относится уплотнение тяжелыми трамбовками, начатое, по предложению Ю.М.Абелева, с середины 50-х годов. Широкомасштабные исследования и опытные работы по экспериментальному обоснованию условий применения тяжелых трамбовок выполнены В.Б.Швец; В.И.Крутовым; А.А.Григорян; В.Г.Галицким; И.Г.Рабиновичем и др. исследователями [1; 2; 4; 7; 8].

Работы по уплотнению грунтов были начаты трамбовками массой 2...3 т. с высотой их подъема 4...5 м. В последующем масса трамбовок повышена до 4,5...6 т, а высота их подъема до 5...7 м. Это позволило увеличить глубину уплотнения грунта с 1,5...2 до 3...3,5 м.

В ряде зарубежных стран (Франция; Англия; Швеция; Япония) появились тяжелые и сверхтяжелые трамбовки массой от 20 до 200 т. с высотой их сбрасывания от 10 до 40 м и глубиной уплотнения 5...20 м [4].

Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками широко применяется для устранения просадочности лёссовых грунтов. Работы по уплотнению рекомендуется выполнять при оптимальной влажности грунта [7]. В производственной практике повышение влажности до

оптимальной технологически не отработано и сопряжено с техническими трудностями. В осенне-зимний период оно практически невозможно.

Нерешенными остаются вопросы повышения эффективности процесса уплотнения трамбовками, которым посвящена выполненная работа.

Эффективность уплотнения - средняя плотность сухого грунта $\rho_{d,com}$ в пределах зоны уплотнения и ее глубина зависят от площади трамбовки «А», статического давления по ее подошве «р», высоты подъема «h», количества ударов по одному следу «n», и влажности уплотняемого грунта «w». Работа, выполняемая трамбовкой в Дж, приходящаяся на 1 м^2 уплотняемой поверхности определяется произведением $p \times h \times n$. Разделив ее на глубину достаточного уплотнения $H_{д.у}$, можно получить затраты работы на 1 м^3 уплотненного грунта.

В таблице 1 приведены параметры трамбовок при уплотнении просадочных грунтов по опубликованным данным, и при уплотнении на объектах Одесского нефтетерминала.

Таблица 1

Параметры трамбовок при уплотнении грунтов

Город объект	П а р а м е т р ы						
	Трамбовки				Уплотнения		Источ- ник
	N кН	D м	A м ²	p кПа	H м	n -	
1. Грозный, мол. комб.	13	0,0×0,9	0,81	16	4	10	[8]
2. Волжский, к - А волгогр. обл. к - Б	20	1,3	1,3	15,1	5	14 20	-
3. Тольятти	50	1,6	2,0	25	7	18	[3]
4. Измаил, отм. 5,0 целлюл.комб. отм. 4,36	21	1,2×1,2	1,44	15	4	17 9	[5]
5. Набережные Челны	45	1,4	1,54	29,2	9	8 12 20	[7]
6. Одесская обл. дисп.пункт нефтетерминал пож. депо - I пож. депо - II	105 105 38	2,2 2,2 1,0	3,8 " 0,79	27,6 " 48	10 " 8	12 10 10	[6]

Примечания: N - вес; D - диаметр; A - площадь подошвы; p - статическое давление по подошве трамбовки; H - высота подъема; n - количество ударов.

Процесс уплотнения сопровождается сокращением объема пор, заполненных газом. Вода, находящаяся в порах с частью защемленного

воздуха, оказывает расклинивающее действие, разрушающее структурные связи на контактах между частицами. В результате, при падении трамбовки, происходит уплотнение грунта под ее подошвой и расширение в стороны за пределы контура трамбовки.

Максимальное значение плотности зависит от влажности уплотняемого грунта и может быть получено по зависимости:

$$\rho_{d,com} = \rho_s \times \rho_w / (\rho_w + \rho_s \cdot w) \quad (1)$$

где: ρ_s и ρ_w - плотность частиц грунта и воды, а w - влажность уплотняемого грунта.

Повышение плотности, при уплотнении грунта, сопровождается увеличением его степени влажности. Чем выше начальная влажность, тем ниже конечная плотность. Степень влажности уплотненного грунта может быть определена по зависимости:

$$S_{r,com} = \rho_s \times \rho_{d,com} \times w / (\rho_s - \rho_{d,com}) \rho_w \quad (2)$$

В таблице 2 приведены результаты определения максимального значения плотности расчетным путем и опытные данные, полученные по результатам уплотнения тяжелыми трамбовками.

Таблица 2

Расчетные и фактические параметры деформаций при уплотнении

№	w	S _r	Расчетные значения		Опытные данные	
			ρ _{d,com} г/см ³	S _r -	ρ _{d,com} г/см ³ ; на глубине, м	
					0,0	0,5
1	0,175	0,53	1,82	0,85	1,73	1,68
2	0,105*	0,36	2,02	0,74	-	1,87
	0,106*	0,36	2,02	0,98	-	2,03
3	0,105*	0,37	2,02	0,91	1,98	1,83
4	0,20	0,69	1,78	0,88	1,68	-
	0,22	0,70	1,70	>1,0	1,73	-
6	0,14	0,48	1,95	0,8	1,82	-
	0,11*	0,34	2,02	1,0	2,04	-
	0,12	0,34	2,02	0,79	1,90	-

Примечания: * Расчеты выполнены при влажности равной 0,12. Зависимости (1) и (2) справедливы для влажности $w \geq 0,12$ при которой максимальная плотность сухого грунта, для супесей и суглинков, равна 2,0...2,05 г/см³ при степени влажности $S_r = 1$.

Выполненными исследованиями установлено влияние геометрических параметров трамбовок и технологии уплотнения на

глубину зоны уплотнения, при прочих равных условиях. Установлен факт развития объема зоны уплотнения по глубине и в стороны "за пределы зоны сечения следа, т.е. образуется уплотненное ядро, размеры которого превышают размеры зоны сечения следа" [8]. Опытами не установлены количественные отношения между объемами зоны уплотнения под площадью "следа" трамбовки, и за его пределами.

Наши исследования показали возможность повышения эффективности уплотнения при влажности ниже оптимальной, а также при повышении статического давления по подошве трамбовки.

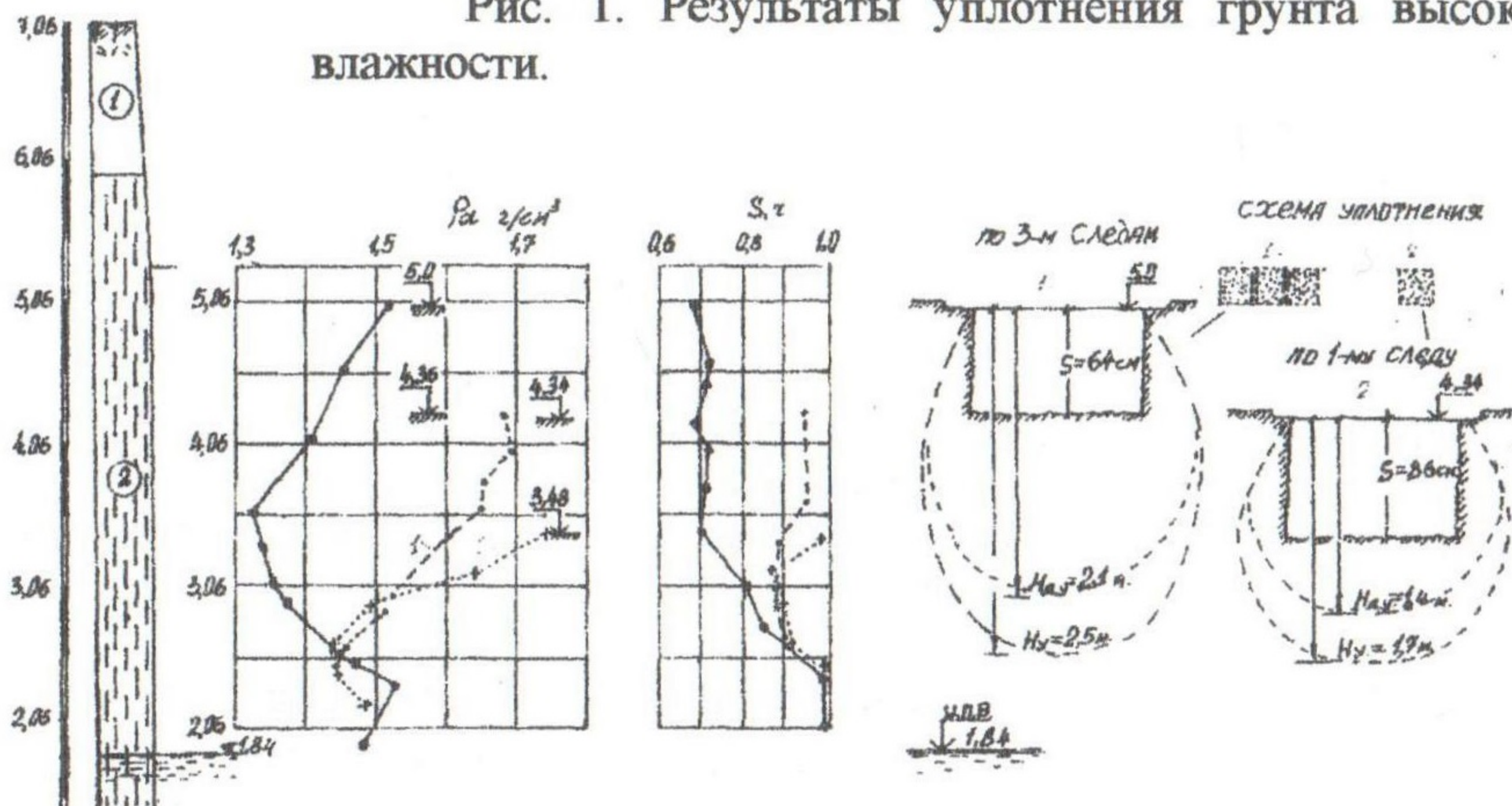
Влияние влажности на развитие деформаций при уплотнении грунта трамбовками. С повышением влажности возрастает степень влажности грунта. При оптимальной влажности степень заполнения пор водой составляет 50...60%. Уплотнения грунта с порами заполненными водой не происходит. Понижение трамбуемой поверхности является результатом уплотнения грунта под площадью трамбовки, развития деформаций в стороны и выпора грунта.

На рис. 1 приведены результаты уплотнения грунта повышенной влажности, выполненного в г. Измаиле [5]. По значениям плотности определена доля осадки (понижение трамбуемой поверхности) за счет уплотнения, по зависимости:

$$s_n = (1 - \rho_d / \rho_{d,com}) \times H_y \quad (3)$$

где: ρ_d и $\rho_{d,com}$ - средние значения плотности сухого грунта до и после уплотнения. H_y - глубина зоны уплотнения.

Рис. 1. Результаты уплотнения грунта высокой влажности.



В опыте 1 около 30%, а в опыте 2 более 50% нижней части зоны уплотнения расположено в пределах капиллярной каймы, со средним значением степени влажности около 0,8 (рис. 1). По результатам опытной трамбовки доля осадки за счет уплотнения составила 50 и 26% от общей величины, а средняя плотность сухого грунта в пределах зоны уплотнения, соответственно 1,61 и 1,57 г/см³ (см табл. 3).

При снижении влажности повышается средняя плотность сухого грунта и доля осадки за счет уплотнения. Так в опыте 2 (рис. 2 и табл. 3) при влажности уплотняемого грунта 0,115 средняя плотность сухого грунта составила 1,78 г/см³, а доля осадки за счет уплотнения около 80%.

Влияние статического давления по подошве трамбовки на процесс уплотнения. Повышение удельного давления по подошве трамбовки позволяет повысить эффективность уплотнения грунта. На рис. 2 приведены результаты уплотнения тяжелыми трамбовками на двух участках для строительства пожарного депо. На первом участке уплотнение выполнено трамбовкой весом 100 кН с удельным давлением 27,6 кПа. При перепланировке, связанной с сокращением количества объектов участок строительства пожарного депо был перенесен. Уплотнение грунта на втором участке предусмотрено двухслойным. Нижний - тяжелой трамбовкой. Верхний - послойной укаткой. Уплотнение нижнего слоя выполнено трамбовкой весом 38 кН с давлением по подошве 48 кПа. При равном количестве ударов трамбовки глубина зоны достаточного уплотнения на первом участке

составила 2,8 м - на втором - 2,4 м, а среднее значение плотности сухого грунта, соответственно 1,78 и 1,84 г/см³. При этом диаметр трамбовки на втором участке в 2,2 раза меньше, а высота ее подъема на 2 м ниже, чем на первом.

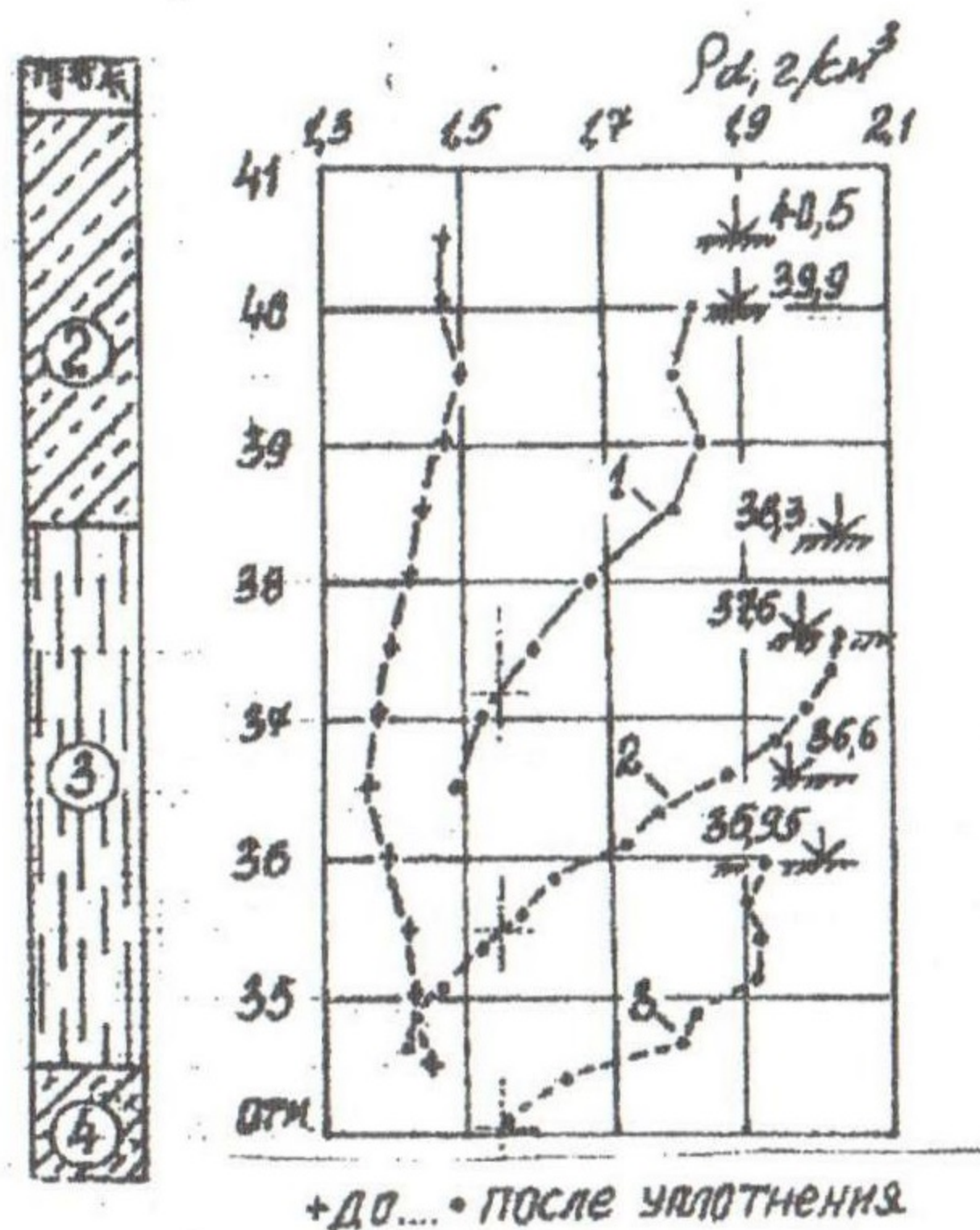


Рис. 2. Результаты уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками на объектах нефтетерминала в Одесской обл. 1. Диспетчерский пункт. 2 и 3. Первый и второй участки пожарного депо.

В Набережных Челнах, на опытном участке, уплотнение выполнено трамбовкой диаметром 1,4 м с давлением по подошве 29 кПа. При 12 ударах трамбовки глубина зоны достаточного уплотнения и средняя плотность уплотненного грунта меньше, чем на втором участке пожарного депо (табл. 1 и 3). Эти факты позволяют считать возможным повышение эффективности уплотнения за счет увеличения статического давления по подошве трамбовки, при прочих равных условиях.

Влияние параметров трамбовки и состояния грунтов на эффективность уплотнения. Затраты работы на уплотнение зависят от ряда факторов к которым можно отнести влажность уплотняемого грунта, размеры трамбовки и давление по ее подошве, высоту подъема и количество ударов по одному "следу". В таблице 3 приведены результаты определения затрат работы на 1 м³ уплотненного грунта.

Таблица 3

Результаты исследований параметров уплотнения

№	w	p · H · n МДж/м ²	H _{д.у} м	P · H · n/ H _{д.у} МДж/м ³	Средняя плотность г/см ³		Осадка поверхности см		
					ρ _d	ρ _{d,com}	s	Δs _n	Δs _n /s
1*	0,175	0,64	1,5	0,43	1,42	1,61	43	21	0,49
2	0,108	1,07	1,5	0,71	1,53	1,78	29	21	0,72
	0,078	1,53	2,0	0,76	1,65	1,86	28	23	0,82
3	0,105	3,15	2,5	1,26	1,53	1,76	50	33	0,66
4*	0,20	1,02	2,1	0,48	1,39	1,61	64	32	0,50
	0,22	0,54	1,4	0,39	1,37	1,57	86	22	0,256
5*	-	2,1	1,7	1,23	1,55	1,73	37	17,7	0,48
	-	3,15	2,0	1,57	1,54	1,78	44	25,8	0,59
	-	5,25	2,5	2,1	1,54	1,75	50	30	0,67
6	0,14	3,31	3,2	1,03	1,44	1,74	60	55	0,91
	0,115	2,76	2,8	0,98	1,40	1,78	69	56	0,81
	0,12	3,84	2,4	1,60	1,4	1,84	65	51	0,78

Примечание: * Уплотнение выполнено на опытных участках.

При уплотнении грунта оптимальной и повышенной влажности затраты работы составляют 0,4...0,5 МДж/м³. При уплотнении грунт ов невысокой влажности затраты работы возрастают до 0,76...1,26 МДж/м³, но при этом повышается эффективность уплотнения (глубина зоны уплотнения и средняя плотность в ее пределах).

Эффективность уплотнения зависит от площади трамбовки, высоты ее подъема, количества ударов по одному "следу" и статического давления по подошве. Увеличение каждого из параметров повышает затраты работы на уплотнение одного m^3 грунта (табл. 3).

На развитие деформаций, при уплотнении, оказывают влияние условия проведения работ. На опытных участках осадка трамбуемой поверхности за счет деформаций уплотнения меньше, чем на участках производственного (сплошного) уплотнения, где ее значение достигает 66...82%.

Выводы.

1. Эффективность уплотнения повышается при снижении влажности уплотняемого грунта и повышении давления по подошве трамбовки.

2. При уплотнении грунтов невысокой влажности трамбовками с повышенным давлением по подошве увеличиваются затраты работы, но при этом повышается эффективность уплотнения и исключается дополнительное увлажнение.

Литература

1. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных, макропористых грунтах. - М.: Стройиздат, 1968. - 431с.
2. Григорян А.А. Исследование просадочных свойств грунтов при уплотнении оснований тяжелыми трамбовками // Сб. науч. тр. совещания по закреплению и уплотнению грунтов. - Киев: АСИА УССР.- 1962.- С. 403-406.
3. Галицкий В.Г., Круглов И.Н. Опыт уплотнения лёссовых просадочных грунтов на строительстве в г. Тольятти // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1970. - № 4. - С. 17-19.
4. Крутов В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах // К.: "Будівельник". - 1982. - 222 с.
5. Тугаенко Ю.Ф. Некоторые особенности уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками // Основания и фундаменты. - К.: "Будівельник". - 1969. - Выпуск 2. - С. 99-103.
6. Тугаенко Ю.Ф., Поберий В.А., Зильбер Л.И. Опыт уплотнения просадочных грунтов на объектах Одесского морского нефтеперевалочного комплекса "Терминал" // Будівництво України. -1998. - № 4. - С. 34-36.
7. Уплотнение просадочных грунтов / В.И. Крутов, А.Г. Галицкий, А.А. Мусаэлян, И.Г. Рабинович, Б.А.Сальников, Р.П. Гайдук / Под ред. В.И. Крутова. - М.: Стройиздат. - 1974. - 207 с.
8. Швец В.Б. Исследование эффективности уплотнения лёссовых грунтов тяжелыми трамбовками // Сборник трудов совещания по строительству на лёссовых грунтах. - Киев - 1960. - С. 261-273.