

## О влиянии режима приложения ударной нагрузки на показатели уплотняемости суглинка

УДК 624.131.439.4

### Бекбасаров Исабай Исакович

доктор технических наук, профессор, директор департамента науки и новых технологий Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати, e-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru;

### Байтемиров Мухан Назарович

директор Южно-Казахстанского филиала АО «Казахский НИИ строительства и архитектуры», кандидат технических наук. e-mail: m.bait@mail.ru;

### Монтаева Хасият Абилсеитовна

магистрант 2-курса факультета «Водное хозяйство, экология и строительство» Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати, e-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru;

### Исаков Галым Исабаевич

магистр строительства, e-mail: proektny03@mail.ru

Статья получена: 20.01.2016. Рассмотрена: 27.01.2016. Одобрена: 10.02.2016. Опубликовано онлайн: 28.03.2016. ©РИОР

**Аннотация.** Изложены результаты испытаний образцов суглинка на действие различных режимов приложения многократной ударной нагрузки. Оценено влияние режимов ударного нагружения на деформируемость образцов, их плотность и энергоёмкость уплотнения. Выявлено, что наибольшая плотность характерна для образцов уплотнённых при линейно-возрастающем режиме нагрузки, а наименьшая – при постоянном режиме нагрузки.

**Ключевые слова:** суглинок образец, высота образца, ударная нагрузка, режим приложения, испытания, плотность, энергоёмкость, динамическое сопротивление.

Известно, что при поверхностном уплотнении, вытрамбовывании котлованов и выштамповывании траншей наибольшее уплотнение грунтов достигается при их оптимальной или близкой к ней влажности. Оптимальная влажность и максимальная плотность грунтов устанавливаются на основе лабораторных испытаний их образцов в соответствии с требованиями стандарта [1]. При этом стандартные испытания проводятся при постоянном режиме приложения ударной нагрузки, т.е. при сбрасывании ударника с одной высоты. На практике же, вытрамбовывании котлованов и выштамповывание траншей производится как при постоянной, так и при переменной высоте сбрасывании трамбовки [2,3]. Так

### ABOUT THE MODE INFLUENCE OF APPLYING SHOCK LOADS ON THE INDICATORS OF COMPACTIBILITY OF CLAY LOAM

#### Bekbasarov Isabai Isakovich

Director of Science and New Technology Department of Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Doctor of Technical Science, Professor. e-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru;

#### Baitemirov Mukhan Nazarovich

Director of South-Kazakhstan Branch “Kazakh Research Institute of Construction and Architecture”, Candidate of Technical Sciences. e-mail: m.bait@mail.ru;

#### Montayeva Khasiyat Abilseitovna

Master student of Faculty “Water Recourses, Ecology and Construction” of Taraz State University named after M.Kh. Dulati, e-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru;

#### Isakov Galym Isabayevich

Master, Taraz regional Administration. e-mail: proektny03@mail.ru  
Manuscript received: 20.01.2016. Revised: 27.01.2016. Accepted: 10.02.2016. Published online: 28.03.2016. ©RIOR

**Abstract.** The results of tests of samples of clay loam on the effects of different modes of applying multiple shocks are presented. The influence of shock loading conditions on the deformability of the samples, their density and power consumption of upcompaction are assessed. Revealed that the highest density is typical for samples compacted at a linearly increasing load conditions, and the lowest – at constant load conditions.

**Keywords:** loam sample, sample height, shock load, applying mode, tests, density, power consumption, dynamic resistance.

строительные нормы Республики Казахстан [4] регламентируют вытрамбовывать котлованы при многоступенчато-возрастающем изменении высоты сбрасывания трамбовки. Таким образом, при использовании переменного режима приложения ударной нагрузки на грунты имеет место, его несоответствие режиму уплотнения, принимаемому при стандартных лабораторных испытаниях. Но, несмотря на данное обстоятельство оптимальная влажность и максимальная плотность грунтов, устанавливаемые в соответствии с требованиями стандарта [1], являются основными критериями обеспечения их эффективной уплотняемости и при переменных режимах приложения ударной нагрузки в полевых условиях.

В сложившихся условиях, значительный интерес, для специалистов, представляет вопрос о влиянии режима приложения ударной нагрузки на уплотняемость грунтов при их оптимальной влажности. Для изучения данного вопроса авторами проведены исследования с применением усовершенствованного прибора стандартного уплотнения [5]. Опыты проведены с образцами суглинка и образцами смесей, полученных из суглинка и крупного песка. При этом доля крупного песка в суглинке изменялась от 5 до 30 % по массе. Испытания проводились при оптимальной влажности суглинка равной 21,96% и оптимальной влажности крупного песка равной 12,36%. Средневзвешенная оптимальная влажность глинопесчаных смесей составляла 21,48, 21,0, 20,52, 20,04 и 19,08 % соответственно при добавке песка в 5, 10, 15, 20 и 30% по массе. Физические характеристики суглинка представлены в табл. 1.

Образцы испытывались при следующих четырех режимах приложения ударной нагрузки (рис. 1):

- постоянном (ПР);
- двухступенчато-возрастающем (ДСВР);
- многоступенчато-возрастающем (МСВР);
- линейно-возрастающем (ЛВР).

Таблица 1

**Физические характеристики суглинка**

Наименование грунта	Влажность на границе текучести WL, %	Влажность на границе раскатывания WP, %	Число пластичности $I_P$	Показатель текучести $I_L$
Суглинок тугопластичный	26,32	19,04	7,28	0,401

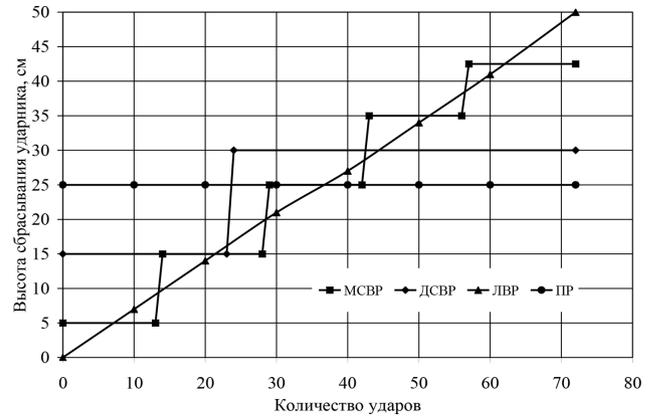


Рис. 1. Режимы приложения ударной нагрузки на образцы в опытах

В опытах масса и количество ударов ударника, а также масса образцов принимались постоянными, а режим приложения ударной нагрузки изменялся путем увеличения высоты сбрасывания ударника. При этом суммарные энергетические затраты ударника на каждый образец также оставались постоянными (при всех режимах ударной нагрузки).

Таблица 2

**Результаты испытаний образцов**

Режим приложения ударной нагрузки	Показатели				
	Кoeffициент понижения высоты образца, %	Объем понижения образца, см <sup>3</sup>	Удельная энергоемкость уплотнения образца, Дж/см <sup>3</sup>	Плотность (плотность в сухом состоянии), г/см <sup>3</sup>	Сила динамического сопротивления грунта в конце уплотнения, Н
Образцы суглинка					
ПР	49,12	439,6	1,0	2,19 (1,796)	29,74
ДСВР	50,0	447,45	0,99	2,23 (1,823)	32,15
МСВР	48,0	408,2	1,08	2,31 (1,89)	33,24
ЛВР	51,4	431,75	1,02	2,45 (2,01)	40,54
Образцы суглинка с 30% содержанием крупного песка					
ПР	43,56	345,4	0,71	2,23 (1,872)	50,71
ДСВР	44,55	353,25	0,58	2,27 (1,906)	53,18
МСВР	45,0	345,4	1,27	2,40 (2,01)	59,80
ЛВР	48,45	368,95	1,2	2,55 (2,141)	80,39

Оценка влияния режима приложения ударной нагрузки на процесс уплотнения грунтов производилась по следующим показателям (табл. 2):

- высота, коэффициент понижения высоты (отношение высоты образца до уплотнения к его высоте после уплотнения в процентах) и объем понижения образцов;

- удельная энергоёмкость уплотнения образцов (отношение суммарных затрат энергии ударов ударника к объему понижения образца);

- плотность (плотность в сухом состоянии) образцов;

- сила динамического сопротивления грунта (смеси) при последнем ударе (в конце уплотнения).

На рис. 2 и 3 представлены графики изменения высоты образцов суглинка по мере увеличения количества ударов. Из результатов испытаний суглинка видно, что характер уменьшения высота образцов зависит от режима приложения ударной нагрузки (рис.2). Так при постоянном режиме приложения нагрузки имеет место кривая с ярко выраженной вогнутостью, а при двухступенчато-возрастающем режиме – кривая с «перегибом» на участке перехода от первой ко второй ступени нагрузки.

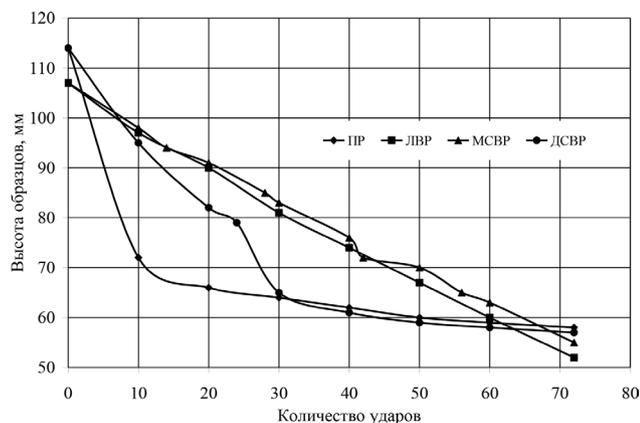


Рис. 2. Изменение высоты образцов суглинка по мере увеличения количества ударов

При линейно-возрастающем режиме приложения нагрузки зависимость высоты образца от количества ударов ударника близка к прямой линии, а при многоступенчато-возрастающем режиме – к кривой с видимыми «перегибами» на участках перехода от одной ступени нагрузки к следующей. Как видно аналогичные особенности, с некоторыми небольшими отклонениями свойственны и для графиков, полученных в опытах с образцами суглинка с добавками крупного песка (рис. 3).

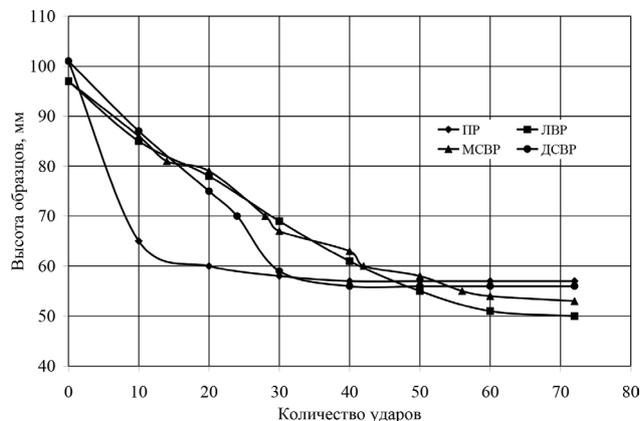


Рис. 3. Изменение высоты образцов суглинка (с 30% содержанием песка) по мере увеличения количества ударов

Первые три показателя, представленные в таблице 2, можно сравнивать отдельно для постоянно-го и двухступенчато-возрастающего режимов приложения нагрузки, и отдельно для многоступенчато-возрастающего и линейно-возрастающего режимов приложения нагрузки. Это обусловлено тем, что для сравниваемых режимов первоначальная «насыпная» высота образцов до испытаний принималась одинаковая. Из таблицы следует, что при двухступенчато-возрастающем режиме нагрузки коэффициент понижения высоты и объем понижения образцов соответственно оказались на 0,9–1,0% и 1,8–2,3% выше, чем при постоянном режиме нагрузки. Удельная энергоёмкость уплотнения образцов, наоборот, при двухступенчато-возрастающем режиме на 1,0–18,3% оказалась ниже чем, при постоянном режиме нагрузки. Причем большее влияние режима приложения нагрузки на рассматриваемые показатели наблюдается в опытах с образцами суглинка с добавками песка. При линейно-возрастающем режиме нагрузки коэффициент понижения высоты и объем понижения образцов соответственно оказались на 3,4–3,5% и 5,8–6,8% выше, чем при многоступенчато-возрастающем режиме нагрузки. Удельная энергоёмкость уплотнения образцов, наоборот, при линейно-возрастающем режиме на 5,5–5,6% оказалась ниже чем, при многократно-возрастающем режиме нагрузки.

До начала испытаний «насыпная» плотность и «насыпная» плотность образцов составляла соответственно 1,12–1,31 г/см<sup>3</sup> и 0,92–1,10 г/см<sup>3</sup>. После уплотнения эти показатели увеличились в 1,95–1,96 раза. При этом наибольшая плотность характерна для образцов уплотненных при линейно-возрастающем режиме нагрузки, а наименьшая – при по-

стоянном режиме нагрузки. Так, плотность образцов (плотность образцов в сухом состоянии) при линейно-возрастающем режиме нагрузки:

- на 6,1% (6,4–6,5%) выше, чем при многоступенчато-возрастающем режиме;

- на 9,9–12,3% (10,3–12,3%) выше, чем при двухступенчато-возрастающем режиме;

- на 11,9–14,3% (11,9–14,4%) выше, чем при постоянном режиме. Из результатов исследований видно, что режим приложения ударной нагрузки оказывает заметное влияние на плотность грунта. Для учета влияния режима приложения ударной нагрузки на плотность грунта и плотность его в сухом состоянии рекомендуется использовать следующие зависимости

$$\rho = k_1 \rho',$$

$$\rho_d = k_2 \rho'_d,$$

где  $\rho'$  и  $\rho'_d$  – максимальная плотность грунта и его максимальная плотность в сухом состоянии при постоянном режиме приложения ударной нагрузки, г/см<sup>3</sup>;

$k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, принимаемые по таблице 3 в зависимости от типа переменного-возрастающего режима уплотнения грунта.

Таблица 3

### Коэффициенты $k_1$ и $k_2$

Коэффициенты	Значения коэффициентов при режимах приложения ударной нагрузки		
	двухступенчато-возрастающим	многоступенчато-возрастающим	линейно-возрастающим
$k_1$	1,018	1,055	1,119
	1,018	1,076	1,143
$k_2$	1,015	1,052	1,119
	1,018	1,074	1,144

Примечание – в знаменателе приведены значения коэффициентов для суглинка, а в числителе – для глинопесчаной смеси (суглинка с 30% содержанием крупного песка).

Более значимое влияние режим приложения нагрузки оказывает на силу динамического сопротивления грунта, возникающую при последнем ударе по образцу в конце процесса уплотнения

(табл. 2). Данный показатель вычислялся по формуле (1), полученной из уравнения энергетического баланса, составленного для условий удара по образцу в приборе стандартных испытаний.

$$R_d = [QH(1-k) - QH_o - (q_n + q_c)\Delta h] / \Delta h, \quad (1)$$

где  $Q$  – вес ударника, Н;

$H$  – высота сбрасывания ударника при последнем ударе по образцу, см;

$H_o$  – высота отскока ударника от наковальни прибора после удара, см;

$k$  – коэффициент, определяющий долю конструктивного трения от веса ударника при скольжении ударника по направляющему стержню [5];

$\Delta h$  – глубина понижения поверхности образца от удара ударника, см;

$q_n$  – вес наковальни прибора уплотнения, Н;

$q_c$  – вес направляющего стержня прибора уплотнения, Н.

Наибольшая сила динамического сопротивления, характерна для образцов, уплотненных при линейно-возрастающем режиме нагрузки, а, наименьшая – при постоянном режиме нагрузки. Так, сила динамического сопротивления образцов, уплотненных при линейно-возрастающем режиме нагрузки:

- на 22,0–34,4% больше, чем для образцов, уплотненных при многоступенчато-возрастающем режиме нагрузки;

- на 26,1–51,2% больше, чем для образцов, уплотненных при двухступенчато-возрастающем режиме нагрузки;

- на 36,3–58,5% больше, чем для образцов уплотненных при постоянном режиме нагрузки.

Зависимости (1) и (2) допускается использовать для уточнения максимальной плотности грунта и его максимальной плотности в сухом состоянии при переменном режиме уплотнения ударной нагрузкой и оптимальной влажности грунта, определяемой по результатам стандартных испытаний.

Представленные результаты опытов делают актуальным дальнейшее изучение следующих вопросов:

- определение оптимальной влажности и максимальной плотности грунтов при переменном-возрастающих режимах приложения ударной нагрузки в приборе стандартного уплотнения (с выдержкой методики стандартных испытаний, но с изменением режима приложения нагрузки);

- моделирование энергетических параметров ударника (массы и высоты сбрасывания) для лабораторных испытаний образцов грунта исходя из условий обеспечения равенства расчетных динами-

ческих сопротивлений грунта под подошвой трамбовки (в полевых условиях) и под подошвой накопительного прибора стандартных испытаний.

### Литература

1. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Взамен ГОСТ 227-77; Введ. 01.07.2003. М., 2002. 11 с.; ил. – (Система стандартов на грунты, основания и фундаменты).
2. Бекбасаров И.И. Влияние режима приложения ударной нагрузки на уплотняемость грунта // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. 2004. №4. С. 245-249.
3. Бекбасаров И.И. О рациональных режимах приложения ударной нагрузки при вытрамбовывании котлованов под фундаментами: сб. науч. тр. / КазНИИССА. 2007. Вып. 22 (32). С.198-202.
4. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. Правила производства и приемки работ: СН РК 5.01-07-2002. / Комитет по дел. стр-ва МИИТ РК: Введ. впервые 01.04.2003. Астана: Проектная академия «KAZGOR», 2003. 27 с.: ил.
5. Бекбасаров И.И. Основы рационального вытрамбовывания котлованов под фундаментами. Тараз: Издательство «Тараз университеті», 2011. 155 с.; ил.

### References

1. GOST 22733-2002. Soils. Method for laboratory determination of maximum density.
2. Bekbasarov I.I. The effect of mode of application of the shock load on the compactibility of the soil. Vestnik ENU imeni L.N. Gumileva [Vestnik ENU names of L.N.Gumileva], 2004, no 4, pp.245-249 (In Russian)
3. Bekbasarov I.I. About rational modes of application of the shock load when viterbovia excavations for foundations. Vol.22 (32), pp.198-202
4. Foundations in wymbane pits. The rules of production and acceptance of works: SN RK 5.01-07-2002
5. Bekbasarov I.I. Osnovi razionalnogo vitrambovivanja kotlovanov pod fundamenti [Fundamentals of rational wymbane excavations for foundations], Taraz Publ., 2011, 155 c.