

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РУЧНОЙ ТРАМБОВКИ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Абдраимов Э.С., Бакиров Б.

Имаш НАН КР, Бишкек, Кыргызстан, engineer2013@inbox.ru

***Аннотация:** Дана оценка уплотняющей способности и функциональной работоспособности машины, определены основные характеристики испытуемой машины (скорость передвижения, производительность), выявлены слабые места узлов конструкции, которые требуют доработку и дальнейшего усовершенствования*

***Ключевые слова:** мозаично-дорожные плитки, грунтоуплотняющая машина, трамбовка, ударный механизм, силовой кабель, центробежная сила*

INDUSTRIAL TESTING OF THE HAND TRAMMER BASED ON MECHANISMS OF VARIABLE STRUCTURE

Abdraimov E.S., Bakirov B.

Imash NAS KR, Bishkek, Republic of Kyrgyzstan

***Abstract:** An assessment of the sealing capacity and functional performance of the machine is given, the main characteristics of the tested machine (speed of movement, productivity) are determined, weak points of the structural units are identified, which require revision and further improvement*

***Key words:** mosaic road tiles, soil compacting machine, rammer, centrifugal force, impact mechanism, power cable*

1. Оценка производительности ручной трамбовки с МПС

Промышленные испытания машин проводятся с целью оценки уплотняющей способности грунта ручной трамбовки, работоспособности в целом ее узлов и механизмов, и основных технико-эксплуатационных характеристик.

Перед непосредственным проведением испытаний машины производилось подключение силового кабеля к электрической сети с напряжением 0,4 кВ. При необходимости производилась смена фазных проводов для изменения направления вращения выходного вала электродвигателя т.к. для работы ударного механизма кривошип должен иметь строго определенное направление вращения.

Испытания проводились на различных строительных объектах, в том

числе на парадной площадке центрального входа главного корпуса КНТУ им. И. Раззакова при кладке мозаично-дорожной плитки. Площадка представляла собой ровно рассыпанный в рыхлом состоянии щебень с песком.

Плотность грунтов в стесненных, неудобных и труднодоступных местах, находящихся в пределах проезжей части дорог и улиц, должна быть не меньше требуемых по Строительные нормы и правила (СНиП). Недоуплотнение грунта влечет за собой всем известные существенные послепопостроечные осадки грунта, с деформированием, а порой и разрушением дорогостоящих дорожных покрытий.

Перед уплотнением площадки предварительно подготовлены, т.е. посыпаны в равномерной толщине слой грунта, соответствующим уплотняющей способности машин, выровнен и спланирован по поверхности.

Производительность трамбовки, может быть выражена как в площади уплотнения, так и в объемах уплотнения грунта.

Одним из необходимых условий для ручных грунтоуплотняющих машин является передвижение в сторону рыхлого грунта. Исходя из этого, скорость передвижения грунтоуплотняющих машин является важнейшим параметром, по которому можно судить о производительности машины.

В связи с этим, определим вынуждающие силы, передвигающие машину с МПС.

Ось коромысла жестко закреплена в корпусе ударного узла ручной трамбовки и в предупредительном положении имеет максимальное ускорение. В результате возникает наибольшая центробежная сила, направленная в сторону рыхлого грунта (рис.1).

Центробежная сила коромысла состоит из двух слагаемых:

$$P^2 = P_n^2 + P_\tau^2 \quad (1)$$

а) Нормальная центробежная сила определяется:

$$P_n = m \cdot \omega^2 \cdot s \quad (2)$$

где: m - масса коромысла, ω - наибольшая угловая скорость коромысла, s - расстояние от оси вращения до центра тяжести коромысла.

б) Тангенциальная центробежная сила:

$$P_\tau = \varepsilon \cdot J \cdot s \quad (3)$$

где: ε – наибольшее угловое ускорение, J - момент инерции коромысла.

Угол между нормальной и тангенциальной силой определяется из:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{p^{\tau}}{p^n} \quad (4)$$

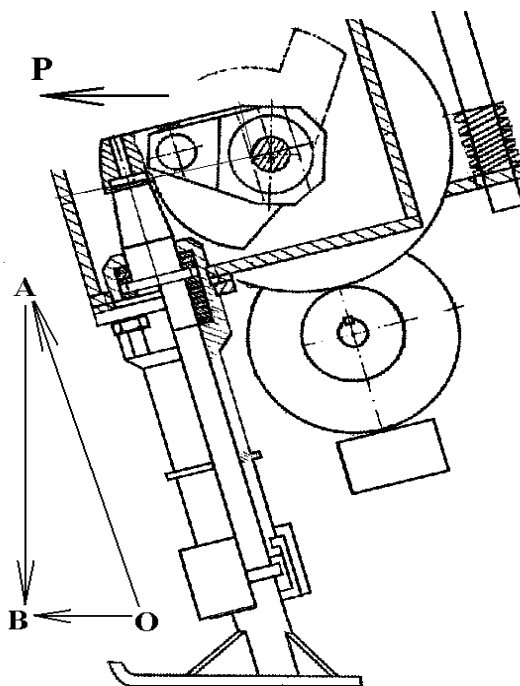


Рис.1. Направления вынуждающих сил, передвигающие ручную трамбовку в сторону наклона ударного узла

Графики на рис. 2 и 3 построены на основе динамического анализа ручной трамбовки МТ-2 (см. глава 2).

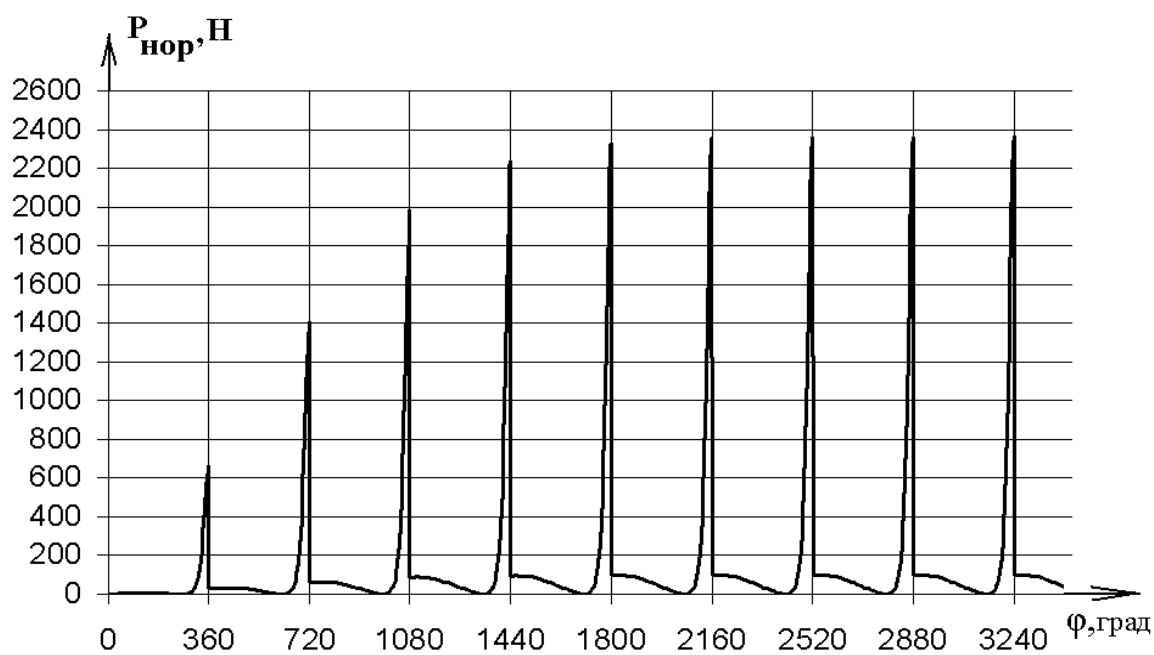


Рис. 2. Зависимость изменения нормальной центробежной силы коромысла от угла поворота кривошипа

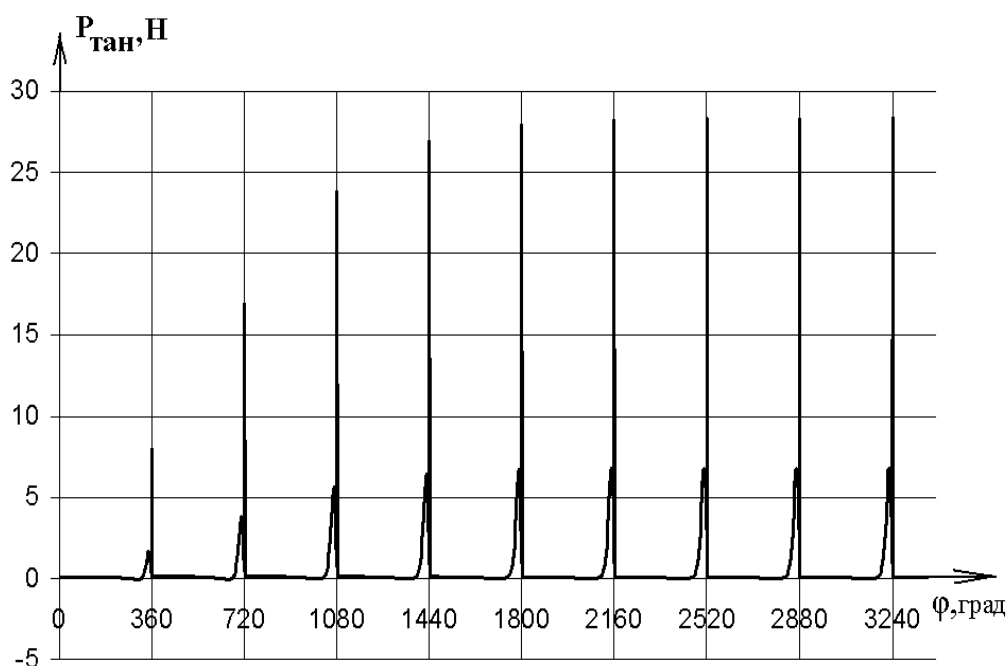


Рис. 3. Зависимость изменения тангенциальной центробежной силы коромысла от угла поворота кривошипа

Тангенциальная центробежная сила коромысла относительно нормальной центробежной силы намного меньше, поэтому ею можно пренебречь.

Помимо вынуждающей силы коромысла, передвигающую машину, при наклоне корпуса после каждого удара в процессе работы происходит ее отскок машины с одновременным перемещением машины в соответствующую сторону наклона (рис.3).

Здесь следует отметить, что чем меньше угол наклона ударного узла, относительно горизонтальной плоскости тем выше скорость перемещения машины при отскоке машины после каждого удара (рис.4).

На рис.1 условно показано направление отскока корпуса после каждого удара вектором ОА. Величина перемещения машины после каждого удара обозначена вектором ОВ. Отскок корпуса машины зависит от твердости и плотности грунта.

По результатам испытаний машин на втором и третьем проходе по одному и тому же месту скорость передвижения существенно увеличивалось, чем при первом проходе.

На основе многократных испытаний машины на различных грунтах опытным путем установлено, что при уменьшении усилий руки оператора

машина легко перемещается и скорость перемещения составляет 10-12 м/мин (ручная трамбовка – 6-8 м/мин) в зависимости от наклона ударного узла относительно трамбуемого башмака (рис. 5).

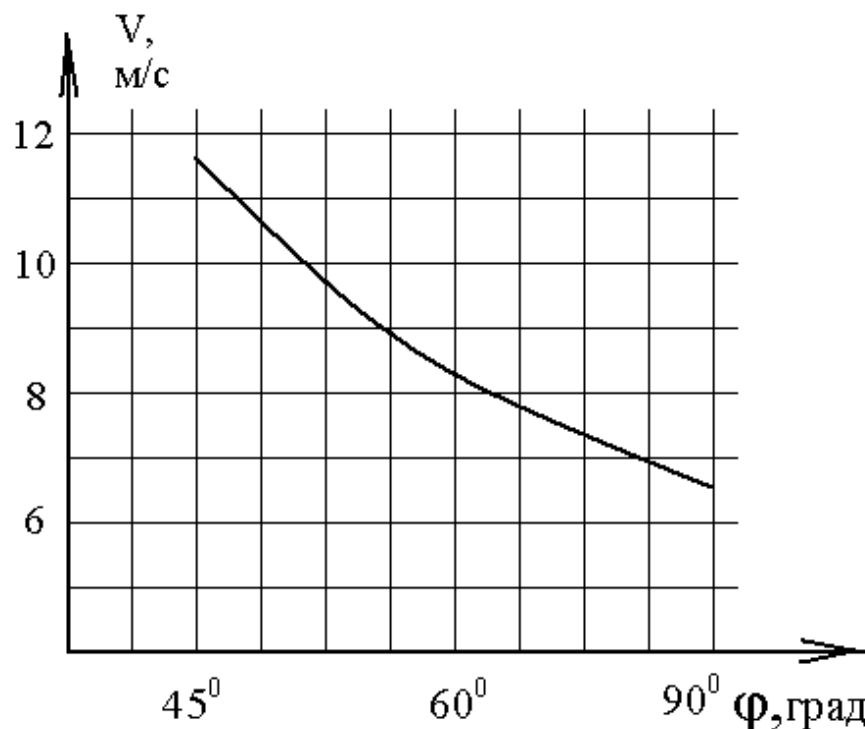


Рис.4. Зависимость скорости перемещения трамбовки от угла наклона ударного узла

При эксплуатации трамбовку с МПС необходимо выбрать угол между направлением удара и плоскостью плиты, исходя из цели: либо требуется большая производительность по площади, либо высокая степень уплотнения.

Таблица 1

Коэффициент трения дорожных материалов по стали

Материал	Характеристика материала	Коэффициенты трения			
		без вибрации	При частоте колебаний, Гц		
			17	50	67
Среднезернистый песок	Влажность, %				
	4,0	0,4	0,19	0,20	0,04
	10,5	0,69	0,26	0,04	0,04
Мелкозернистый песок	15,7	0,67	0,26	0,14	0,14
	Влажность, %				
	4,4		0,42	0	0
	9,0	-	0,34	0,02	0,02

Супесь	17,5	-	0,36	0,04	0,02
	Влажность, %	-			
	3,2	0,41	0,32	0,01	0,04
	9,0	0,51	0,16	0,04	0,04
	15,3	0,51	0,28	0,06	0,08
Мелкозернистая асфальтобетонная смесь	Температура смеси, °С				
	60...66	0,67	0,51	0,01	0,01
	90...103	0,50	0,50	0,06	0,04
	115...120	0,46	0,26	0,09	0,04
	147...160	0,48	0,34	0,01	0,01
Цементобетонная смесь	Осадка конуса, см:				
	0,6	0,46	0,16	0,04	0,04
	0,4	-	0,26	0,02	0,02
	8,0	-	0,13	0	0

Следует учитывать, что с увеличением частоты ударов уменьшается трение поддона с уплотняемым грунтом, и это свойство значительно влияет на скорость перемещения машины. Рекомендуемые коэффициенты трения для ряда грунтов указаны в табл. 1.

Производительность ручных грунтоуплотняющих машин определяется по формуле:

$$П = (B - b) \cdot v \cdot R_v / n \text{ м}^2/\text{мин} \quad (5)$$

где: В - ширина уплотняемой полосы-0,4м; в - ширина перекрытия смежных уплотняемой полосы -0,05м; v- рабочая скорость перемещения машины в м/мин; R_в –коэффициент использования рабочего время -0,9-0,95; n-число проходов по одному месту-1.

Производительность грунтоуплотняющих машин тем больше, чем больше скорость их перемещения. Однако, получение качественного уплотнения (без образования волн) происходит при меньшей скорости передвижения. Подставляя соответствующие значения в (5) определяем производительность трамбовку:

$$П = 4,8 \text{ м}^2/\text{мин}.$$

По техническим показателям ручная трамбовка МТ-2 на основе МПС

не уступает, аналогичным машинам ведущих фирм как Wacker (Германия), Allam (Великобритания) и т.д. Энергия удара ручной трамбовки МТ-2 составляет 150-113 Дж, при частоте ударов соответственно 8-10 Гц, которая используется в зависимости от условия уплотняемой среды и других дополнительных условий.

Этот показатель важен при сопоставлении машин, имеющих конструктивные различные схемы, но выполняющих одинаковую технологическую задачу. Чем выше удельная ударная мощность, тем выше производительность. Критерий сопоставления качества машин использован Левендел Э.Э. при анализе оптимальных виброударных машин.

Акт о проведении промышленных испытаний ручных трамбовок с МПС приведен в приложении.

2. Оценка степени уплотнения грунта ручной трамбовкой с МПС

В США насыпи начали уплотнять послойно с 1925 г., чтобы повысить прочность, уменьшить водопроницаемость и последующую осадку грунта. Однако требования к степени уплотнения грунта к этому времени не были сформулированы. Поэтому, когда вблизи Лос-Анджелеса наводнение размывало земляную дамбу, предъявить претензии к низкому качеству работ было некому – отсутствовали критерии качества уплотнения.

Для оценки степени уплотнения грунтов в США и практически во всех европейских странах принят метод Проктора. Сходный с ним метод стандартного уплотнения был разработан в бывшем СССР Н.Н.Ивановым и М.Я. Телегиным. Сущность обоих методов состоит в том, что конкретный образец грунта подвергается уплотнению в приборе, размеры которого, а также и способ уплотнения стандартизованы. Сравнительными испытаниями установлено, что, несмотря на различие в параметрах стандартного прибора и прибора Проктора, результаты уплотнения в них грунтов практически одинаковы.

Основным критерием оценки степени уплотненного грунта является – коэффициент уплотнения K_y .

Коэффициентом уплотнения называется отношение достигнутой плотности грунта к максимальной (стандартную) плотности грунта:

$$K_y = \rho_{\text{дост.плот}} / \rho_{\text{станд.плот}} \quad (6)$$

Оценке степени уплотнения грунта посвящены много работ.

По результатам промышленных испытаний ручной трамбовки с МПС возникал вопрос о необходимости оценки уплотняющей способности грунта.

Для оценки уплотняющей способности ручной трамбовки с МПС необходимо произвести оценку степени достигнутой плотности рассматриваемого нами грунта (глинистого грунта) или коэффициента уплотнения, обладающей требуемой влажностью; оптимальную толщину уплотняемого слоя и необходимое время уплотнения для достижения требуемой плотности при его оптимальной толщине.

Задача эксперимента для оценки уплотняющей способности ручной трамбовки с МПС состояла в следующем:

1. определить максимальную (стандартной) плотность грунта;
2. определить плотности грунта при различной глубине уплотняемого слоя;
3. установить время уплотнения.

Таблица 2

Метод уплотнения	Параметры уплотнения						
	Форма		Трамбовка			Число слоев	Количество ударов на слой
	Диаметр, мм	Высота, мм	Масса, кг	Высота падения, см	Диаметр, мм		
Стандартное уплотнение	100	127	2,5	30	100	3	25-40
Метод Проктора	102	117	2,5	30,5	51	3	25

Общепринятым рекомендованным первым методом (см. таблицы 2), опытным путем установлена максимальная (стандартная) плотность глинистого грунта.

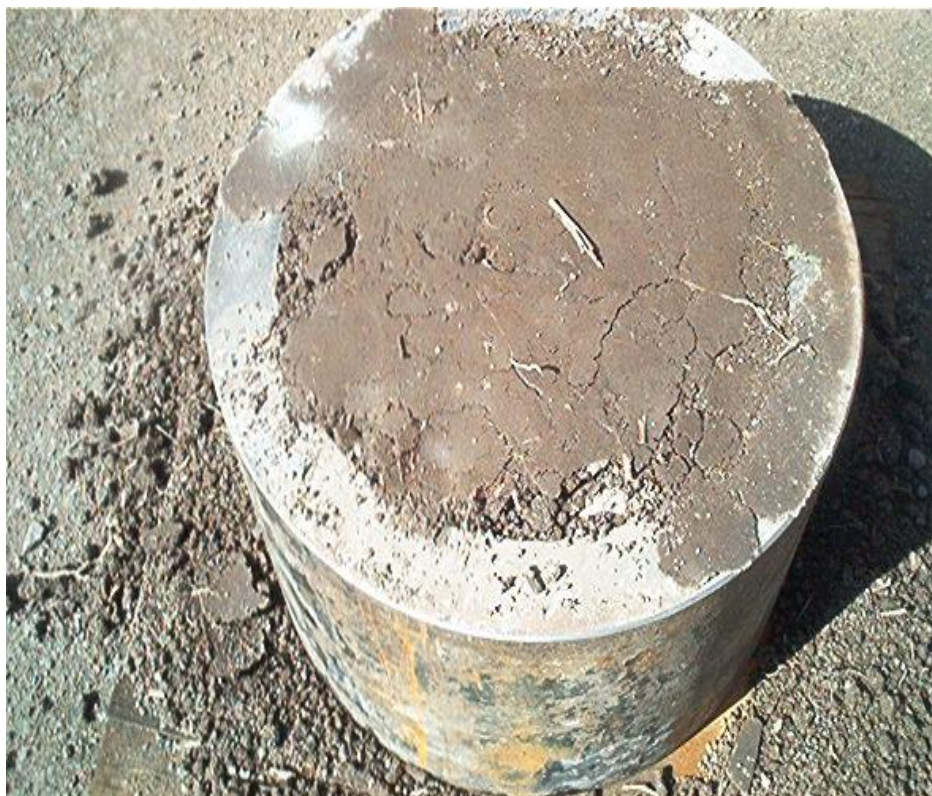


Рис.5.

В качестве формы выбрана цилиндрическая труба с диаметром 100 мм и высотой 120 мм, в которую заложен образец глинистого грунта (рис.3). Согласно указанной таблице 3.2 образец грунта уплотняли послойно.

Взвешивая с помощью точного электронного веса, определены масса максимального уплотненного грунта в форме, который составил 1,6 кг.

Определяем плотность грунта по общеизвестной формуле:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{1.6}{0,000942} = 1700 \text{ кг/м}^3$$

где $v = \pi R^2 h = 0,000942 \text{ м}^3$ - объем посуды.

Таким образом, определена максимальная (стандартная) плотность грунта, которая равна 1700 кг/м^3 .

На испытываемом объекте установили ручную трамбовку с МПС и провели эксперимент.

На площадке равномерно рассыпали сухой глинистый грунт в рыхлом состоянии толщиной 300-350 мм.

Для установления зависимости разницы плотности грунта от длительности уплотнения одного места, допустим на участке А уплотняли

грунт до 10 секунд, во втором месте, на участке Б уплотняли до 20 секунд. Из этих двух мест уплотненного нами грунта отобрали и придавали им аккуратно ножовкой, определенный объем $0,006 \text{ м}^3$ виде параллелограмма с размером (длина, ширина, высота, мм) $200 \times 200 \times 150$.

А чтобы отличить плотность грунта по толщине уплотненного слоя параллелограмм разбили на верхний и нижний слой.

1. На первом участке А (длительность уплотненного грунта 10 секунд):

- плотность верхнего слоя грунта составила $\rho = 1650 \text{ кг/м}^3$ с объемом $0,006 \text{ м}^3$. Масса грунта с объемом $0,006 \text{ м}^3$ составила 9,9 кг;
- плотность нижнего слоя составила $\rho = 1584 \text{ кг/м}^3$ с такими же объемами $0,006 \text{ м}^3$ с размером (длина, ширина, высота, мм) $200 \times 200 \times 150$. Масса грунта составила 9,5 кг.

2. На втором участке Б (длительность уплотненного грунта 20 секунд):

- плотность верхнего слоя грунта составила $\rho = 1666 \text{ кг/м}^3$ с объемом $0,006 \text{ м}^3$. Масса грунта составила 10 кг;
- плотность нижнего слоя составила $\rho = 1602 \text{ кг/м}^3$ с объемом $0,006 \text{ м}^3$. Масса грунта составила 9,6 кг.

Затем, зная плотность грунта на участке А и Б можно определить коэффициент уплотнения на верхнем и нижнем слое грунта.

На участке А коэффициент уплотнение грунта K_y составлял:

- на верхнем слое $K_y = \frac{1650}{1700} = 0,97$;
- на нижнем слое $K_y = \frac{1584}{1700} = 0,93$.

На участке Б коэффициент уплотнение грунта K_y составлял:

- на верхнем слое $K_y = \frac{1666}{1700} = 0,98$;
- на нижнем слое $K_y = \frac{1602}{1700} = 0,94$.

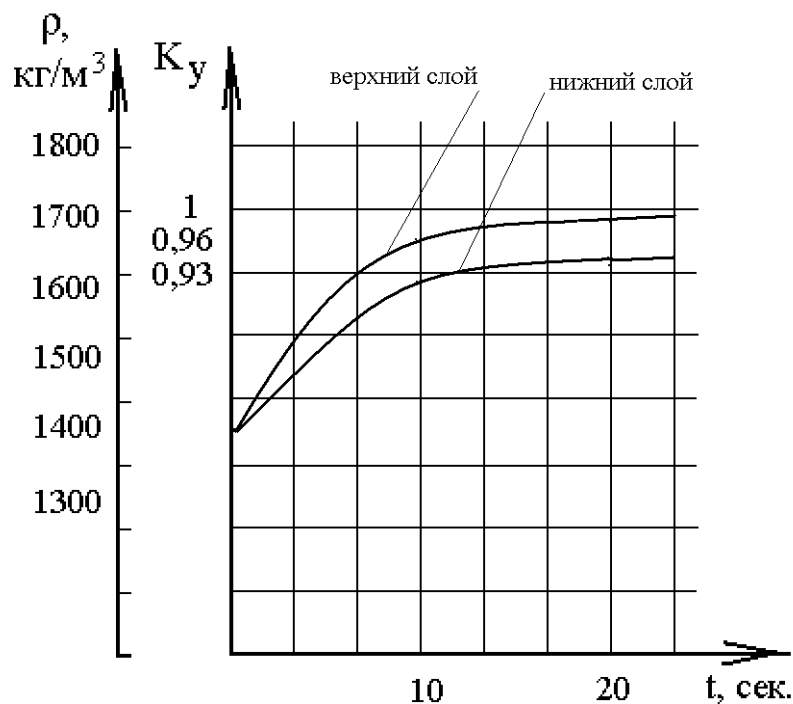


Рис. 6. Зависимость коэффициента уплотнения от длительности уплотнения

На основе этих данных построен график зависимости коэффициента уплотнения от длительности уплотнения (рис.6).

Здесь видно, что чем больше механической работы, затрачено на уплотнение, тем выше достигаемая плотность грунта. Однако длительное время уплотнения не дает существенного увеличения плотности грунта, как видно из рисунка 6.

Как видно на рис. 7, что плотность грунта верхнего слоя достигает наибольшего значения. Это связано с тем, что в уплотняемом грунте под поддоном машины появляется большое напряжение, что приводит к увеличению плотности грунта.

С увеличением толщины уплотняемого слоя грунта плотность грунта в глубинных слоях ниже, чем на верхнем слое. На рис. 7. показаны зависимость изменение плотности грунта от толщины уплотняемого слоя установленной опытным путем.

На основе вышеприведенных результатов эксперимента с ручной трамбовкой на основе МПС можно сделать вывод о том, что их можно использовать для уплотнения основания фундаментов зданий и сооружений, а также других ответственных инженерных сооружений, которое может

обеспечивать требуемый коэффициент уплотнения грунта.

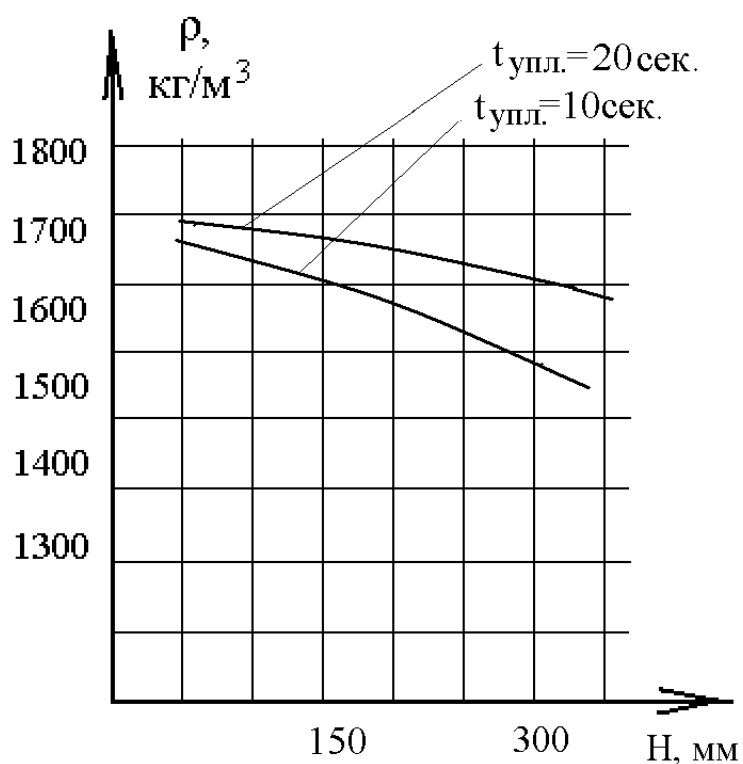


Рис. 7. Зависимость изменения плотности грунта от толщины уплотняемого слоя

В таблице 3 показаны необходимая степень уплотнения грунтов K_y в некоторых местах строительства.

Таблица 3

Необходимая степень уплотнения грунтов

Назначение уплотненного грунта	Коэффициент уплотнения
Основания фундаментов зданий и сооружений, тяжелого технологического оборудования, полов с нагрузкой более 0,15 Мпа	0,98-0,95
Основания фундаментов зданий и сооружений, среднего оборудования, с полов с нагрузкой 0,05-0,12 Мпа, обратных засыпок	0,95-0,92
Незастриваемые участки	0,9-0,88

3. Оценка технического состояния машин в процессе эксплуатации

В ходе проведения промышленных испытаний были выявлены следующие недостатки в конструкции:

- крепежные болты трамбующего поддона отвинчивались под воздействием ударных вибраций;
- в месте соединения шатуна с пальцем коромысла образовался эллипс;
- палец коромысла свободно перемещается вдоль оси.

При длительном испытании выявлены недоработки в конструкции испытуемых машины, в частности трамбующего башмака. В данном узле самопроизвольно отвинчивались крепежные болты 1 поддона, связывающие его с рабочим органом (рис.8). Кроме того, болты сильно изнашивались, что привело к ослаблению данного узла и впоследствии выходу его из строя. В связи с этим было принято решение - заменить болты М12 на М16 и застопорить между собой, так как ударные импульсы направляются под углом, и все нагрузки ударного импульса воспринимают болты 1.

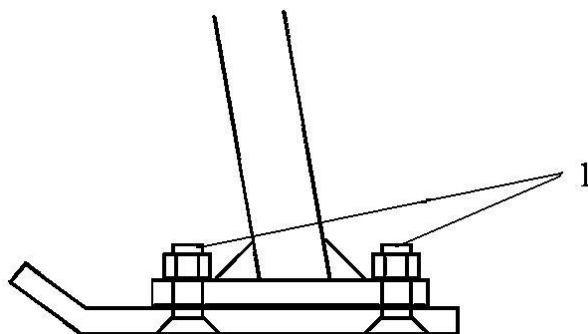


Рис.8. Удар рабочего органа под углом на трамбующего поддона

При разборке и осмотре ударного узла корпуса ручной трамбовки выявлено, что размер и форма отверстия в шарнире «шатун-коромысло» изменились и в место круга образовался эллипс (рис.9).

Это объясняется тем, что ручная трамбовка относится к ударным машинам, где рабочий процесс характеризуется резким изменением за малый промежуток времени кинематических параметров ударного механизма, вследствие чего звенья ударного механизма подвергаются кратковременным циклическим нагрузкам. В момент удара резко увеличивается передаточное отношение шарнирного четырёхзвенного, вследствие чего увеличивается нагрузки на шарнир, с последующим износом внутренней боковой

поверхности из-за низкой твердости шатуна.



Рис.9. Образование эллипса в отверстии шатуна ударного механизма

Увеличение отверстия шатуна приводит к образованию зазора в шарнире, что отрицательно влияет на величину энергии удара и соответственно производительности грунтоуплотняющей машины. После этого заменили шатун, увеличили твердость поверхности шатуна до твердости пальца коромысла, т.е. до 38-40 HRC.

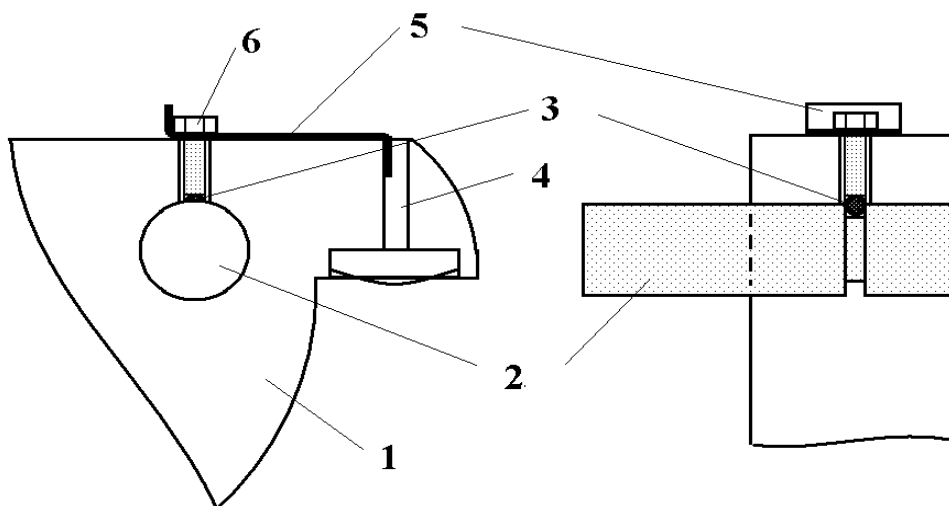


Рис. 10. Приспособления для стопорения пальца коромысла:
где 1-коромысло; 2-палец; 3-шарик; 4- отверстие; 5-планка;
6-стопорный винт

При осмотре элементов ударного механизма обнаружено, что палец 2 коромысла 1 свободно перемещается вдоль оси, в связи с отвинчиванием стопорного винта 6, фиксирующего палец от осевого перемещения (рис.10).

Поэтому в последующих конструкциях было решено производить

фиксацию пальца с помощью винта. А отвинчивания стопорного винта исключить с помощью планки.

4. Результаты промышленных испытаний

Промышленные испытания принципиально новой конструкции ручной трамбовки МТ-2 с ударным узлом на основе механизма переменной структуры, проведенные в полевых условиях, показали их функциональную работоспособность.

В результате испытаний машины опытным путем определены основные параметры такие как: производительность, коэффициенты уплотнения грунта и скорость перемещения машин, которые показаны на табл.4.

Таблица 4

Технико-экономические характеристики ручной трамбовки МТ-2

Наименование	Показатели
Энергия удара, Дж	150
Частота ударов, Гц	9.8
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	1,5
Габаритные размеры, мм ДхШхВ	500х300х720
Масса, кг	60
Габаритные размеры плиты, мм.	300х200
Скорость перемещения, м/мин	8
Производительность, м ² /мин	2-2,5

При испытании общая продолжительность работы машины, в общем, составило 16 часов, что является положительным показателем для опытных образцов машин принципиально новой конструкции.

Преимуществом ручной трамбовки с МПС, по сравнению отбойными молотками при наличии трамбуемого поддона является то, что в них отсутствует прострел (удар по воздуху - часто встречаемый при работе ударных машин, снижающий надежность отбойных молотков на основе МПС).

Недостатком конструкции является преждевременный выход из строя некоторых элементов машины, над которыми ведется дальнейшая работа.