

ДИНАМИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОМАШИНЫ ВГ-1 ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА

Еремьянц В.Э., Ураимов М.

КРСУ, Имам НАН КР, Бишкек, Кыргызстан, eakr.info@gmail.com

Аннотация: Составлена математическая модель и проведен анализ динамики гидравлической вибромашины, в которой вынуждающая сила создается двумя золотниками.

Найдены значения параметров машины, обеспечивающих наилучший режим её работы.

Ключевые слова: вибромашина, постоянная сила, вибратор, импульс сил, динамика машины, уплотнение грунтов.

DYNAMICS HYDRAULIC ВГ-1 VIBRO MACHINE FOR GROUND THICKENING

Eremiants V.E., Uraimov M.

Kyrgyz-Russian Slavic University, Institute of machine science of the NAS KR

Annotation: The mathematical model is developed and the analysis of dynamics hydraulic vibro machine is held, in which forcing power generated by two slide valves. The values of arguments of the machine supplying the best condition of operation are found.

Key words: vibration machine, constant force, vibrator, force pulse, machine dynamics, soil compaction.

Расчет и анализ параметров рабочего процесса этого вибратора, проведенный в работе [2], позволил установить закон изменения вынуждающей силы, действующей на колеблющуюся массу вибромашины от времени. Колеблющейся массой является вся вибромашина, состоящая из вибратора, жестко закрепленного на рабочей плите.

Закон изменения вынуждающей силы представлен на рис. 1.

Он характеризуется тем, что цикл работы вибратора T_M делится на четыре интервала длительностью τ .

На первых двух интервалах на вибромашину действует постоянная сила $P_z + G$, направленная в сторону уплотняемой поверхности грунта, а на последующих двух интервалах – постоянная сила $P_z - G$, направленная в противоположную сторону. Здесь P_z – сила, действующая на корпус вибромашины со стороны рабочих камер гидравлического вибратора; G – сила тяжести вибромашины.

Кроме этого на вибромашину действуют периодические импульсы сил I с периодом τ . При этом первые два импульса направлены в сторону противоположную опорной поверхности машины, а последующие два в сторону опорной поверхности. Величина этих импульсов равна $P_z\tau$.

В предшествующих работах, например, [3], рассматривалась динамика вибромашин для уплотнения грунтов при гармоническом изменении вынуждающей силы, действующей на колеблющуюся массу. В вибромашине ВГ-1 закон изменения вынуждающей силы более сложный и содержит как постоянные составляющие сил, так и периодические импульсы сил, изменяющиеся по знаку.

В связи с этим результаты, полученные в работе [3], не могли быть использованы без соответствующей корректировки для анализа динамики и выбора рациональных параметров машины ВГ-1.

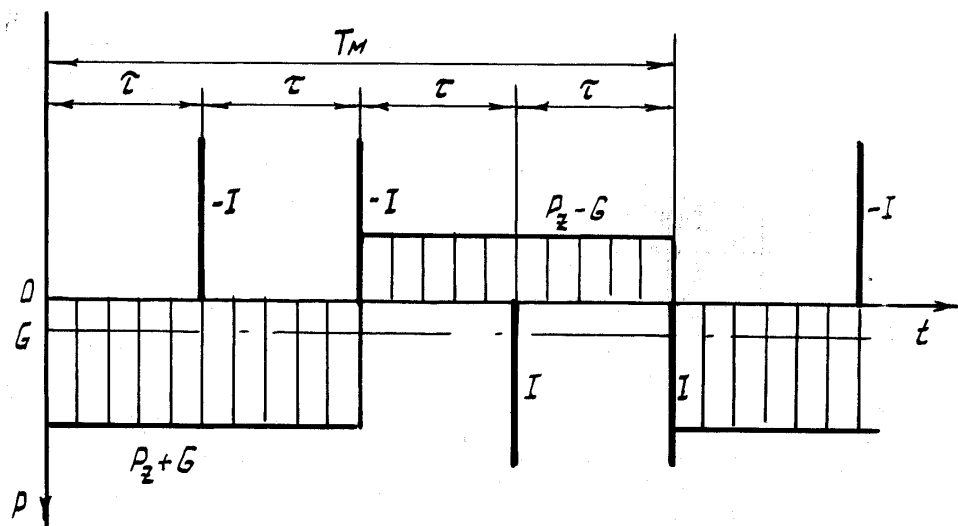


Рис.1. Диаграмма изменения вынуждающей силы, действующей на корпус вибромашины

Это определило необходимость исследования динамики вибромашины при законе изменения вынуждающей силы, показанном на рис. 1. Поставленная задача решалась на примере анализа динамики машины ВГ-1. Масса этой машины составляла 45 кг, а параметры её рабочего процесса, вычисленные в работе [2], представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры рабочего процесса вибрационного механизма [2]

Наименование параметров	Значения параметров при давлении, МПа			
	8	10	12	14
1. Движущая сила, действующая на золотник и корпус механизма, P_z , Н.	1160	1450	1740	2029
2. Отношение $\alpha = P_z/G$	2,630	3,285	4,068	4,596
3. Время движения золотника, τ , мс.	4,983	4,457	4,068	3,768
4. Скорость золотника в конце его хода, V_z , м/с.	8,028	8,976	9,831	10,617
5. Импульс силы, действующий на корпус механизма при ударе по нему золотником, I , Нс,	5,780	6,463	7,078	7,644
6. Изменение скорости корпуса машины, I/m , м/с	0,1284	0,1443	0,1573	0,1699
7. Время полного цикла работы механизма, T_M , мс.	19,932	17,828	16,272	15,070
8. Частота изменения вынуждающей силы, f_P , Гц.	50,17	56,09	61,45	66,36

При решении задачи делались следующие допущения.

Вибромашина работает в режиме с отрывом рабочей плиты от грунта.

При ударе рабочей плитой по поверхности грунта её отскока не происходит, т.е. удар квазипластический.

Перемещение рабочей плиты вибромашины при уплотнении грунта пренебрежимо мало по сравнению с амплитудой колебаний плиты и поверхность грунта можно считать неподвижной.

Эти допущения существенно упрощают решение задачи и позволяют выявить основные закономерности динамики вибромашины. Впоследствии они могут быть уточнены снятием принятых допущений.

Примем, что в начальный момент времени вибромашина лежит на поверхности грунта.

Вертикальное перемещение рабочей плиты вибромашины определяется координатой x . Ось x направлена в сторону уплотняемой поверхности грунта.

Разделим цикл работы вибрационного механизма на временные интервалы длительностью τ в соответствии с законом изменения вынуждающей силы, действующей на рабочую плиту (рис. 1). Введем безразмерный параметр $\alpha = P_z/G$ и учтем, что $G/m = g$, где g – ускорение свободного падения.

Движение рабочей плиты на различных интервалах времени внутри одного цикла работы вибрационного механизма описывается уравнениями:

$$0 < t < 2\tau$$

$$x_n(t) = 0,5g(\alpha + 1)[t - (n-1)\tau]^2 + \dot{x}_{n0}[t - (n-1)\tau] + x_{n0}, \quad n=1; 2. \quad (1)$$

$$\dot{x}_n(t) = g(\alpha + 1)[t - (n-1)\tau] + \dot{x}_{n0}. \quad (2)$$

$$2\tau < t < 4\tau$$

$$x_n(t) = -0,5g(\alpha - 1)[t - (n-1)\tau]^2 + \dot{x}_{n0}[t - (n-1)\tau] + x_{n0}, \quad n=3; 4. \quad (3)$$

$$x_n(t) = -g(\alpha - 1)[t - (n-1)\tau] + \dot{x}_{n0}, \quad (4)$$

где $x_{n0}, \dot{x}_{n0}$ – начальные перемещения и скорости для каждого интервала движения плиты; n – номер интервала длительностью τ .

Напомним, что в моменты времени τ и 2τ на опорную плиту действует импульс сил I , направленный вверх, и она получает приращение скорости на величину $-P_z\tau/m = -\alpha g\tau$. В моменты времени 3τ и 4τ на плиту действует импульс сил, направленный вниз, и она получает приращение скорости $+\alpha g\tau$.

Начальные условия для первого интервала движения $0 < t < \tau$ имеют вид

$$x_{10} = 0, \quad \dot{x}_{10} = 0.$$

Решая последовательно уравнения (1) – (4) и принимая результаты, полученные в конце i – того интервала движения, в качестве начальных условий для $i + 1$ – ого интервала можно построить диаграммы колебаний рабочей плиты при различных давлениях жидкости в напорной магистрали вибратора. Эти диаграммы показаны на рис. 2.

Из анализа полученного решения следует, что характер колебаний плиты зависит в основном от безразмерного параметра α . В диапазоне изменения α от 2,0 до 2,778 (рис. 2а) в пределах одного периода колебаний T_B , через который закон движения плиты повторяется, наблюдается два пика колебаний. Первый – в момент времени $t_{1m} = 4\tau$. Время, соответствующее второму пику, определяется по формуле:

$$t_{2m} = 8\tau + \frac{\alpha - 2}{\alpha + 1}\tau.$$

Амплитуды пиков находятся как:

$$x_{1m} = -0,5(7\alpha - 9)g\tau^2, \quad x_{2m} = -\frac{\alpha(7\alpha - 2)}{2(\alpha + 1)}g\tau^2. \quad (5)$$

Отношение амплитуды второго пика к амплитуде первого составляет:

$$\frac{x_{2m}}{x_{1m}} = 1 + \frac{9}{(\alpha + 1)(7\alpha - 9)}. \quad (6)$$

Из последнего выражения следует, что при выполнении условия $2,0 \leq \alpha \leq 2,778$ амплитуда второго пика всегда больше, чем первого.

Напр., при $\alpha=2,778$ отношение амплитуды второго пика к первому составляет 1,228, при $\alpha=2,63$ (рис.2а) оно равно 1,263 и при $\alpha=2,0$ – равно 1,60.

При изменении параметра α от 2,0 до 2,778 период цикла колебания плиты T_B (рис. 2а) равен 12τ , что составляет три цикла работы вибрационного механизма T_M .

В этом случае средняя частота колебаний плиты с учетом обоих пиков определится как:

$$f = 1/6\tau. \quad (7)$$

Подставляя в эту формулу значения α и τ из табл. 1, соответствующие давлению жидкости в напорной магистрали вибратора равному 8 МПа, получим $f = 33,45$ Гц. Это значение отличается от зафиксированного при испытаниях вибромашины ВГ-1 (34 Гц) всего на 1,6 %.

Таким образом, несмотря на довольно грубую модель, результаты расчета в данном случае хорошо совпадают с результатами эксперимента.

В диапазоне изменения параметра α от 2,778 до 4,0 характер колебаний плиты имеет вид, показанный на рис. 2б. Он отличается от рассмотренного ранее тем, что пики колебаний имеют одинаковые амплитуды, определяемые формулой:

$$x_{1m} = -4\alpha \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} g\tau^2. \quad (8)$$

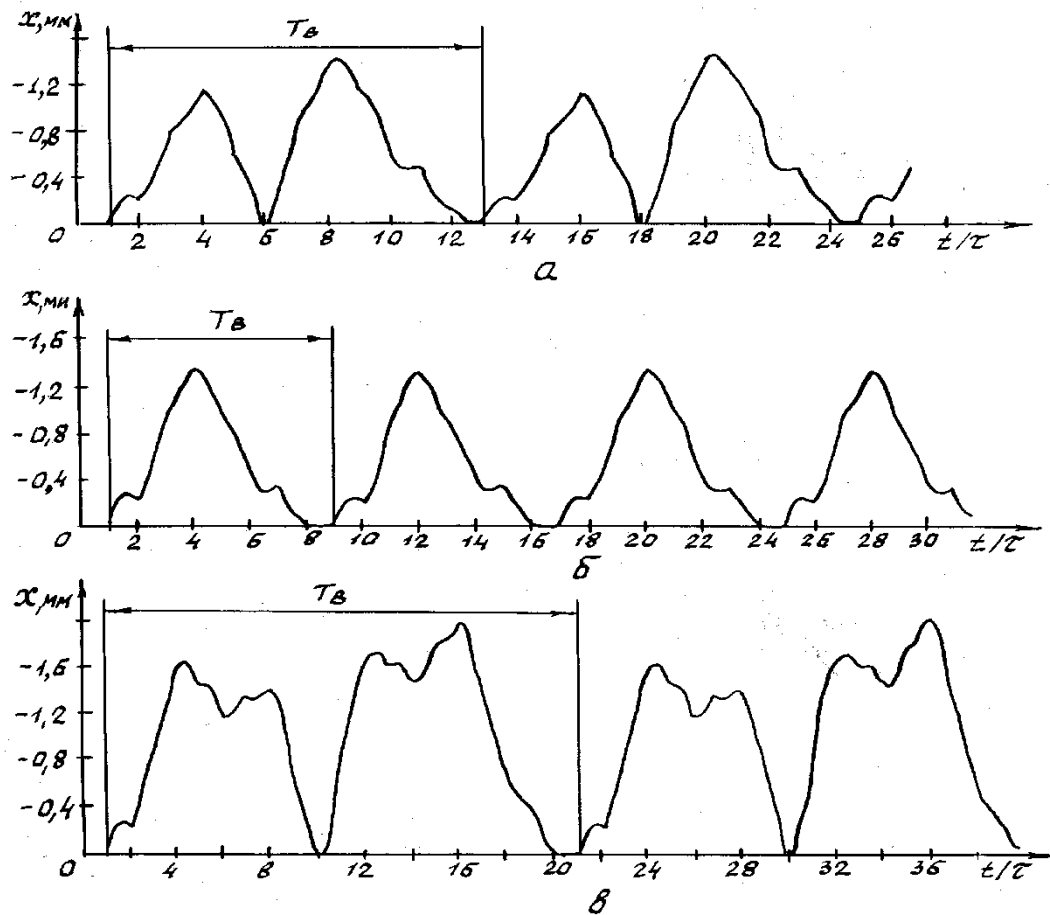


Рис. 2. Диаграммы колебаний рабочей плиты вибромашины ВГ-1:
а – $p = 8$ МПа, $\alpha = 2,63$, $\tau = 4,98$ мс; б – $p = 10$ МПа, $\alpha = 3,285$,
 $\tau = 4,46$ мс; в – $p = 14$ МПа, $\alpha = 4,60$, $\tau = 3,77$ мс.

Первый максимум перемещения плиты соответствует моменту времени

$$t_{1m} = 4\tau + \frac{\alpha - 3}{\alpha + 1}\tau,$$

а период цикла колебания плиты T_B равен 8τ , что составляет два цикла работы вибрационного механизма. При этом каждый цикл колебаний плиты содержит один пик перемещений.

Частота колебаний плиты в этом случае составляет:

$$f = 1/8\tau. \quad (9)$$

Подставляя в эту формулу значения α и τ , соответствующие давлению жидкости 10 МПа (табл. 1), получим $f = 28$ Гц, что на 12 – 20% больше, значений, полученных экспериментально (22 – 25 Гц) при предварительных испытаниях машины.

Большие различия между расчетом и экспериментом во втором случае по сравнению с первым можно объяснить тем, что при более высоких давлениях

жидкости, а, следовательно, и при более высоких нагрузках допущение о том, что грунт абсолютно жесткий становится менее приемлемым.

В диапазоне изменения α от 4,0 до 5,0 колебания плиты характеризуются тем, что в пределах одного цикла длительностью T_B наблюдается четыре локальных пика колебаний (рис. 2в). Первый пик определяется формулой (8), а последующие пики находятся из соотношений

$$x_{2m} = -0,5(15\alpha - 49)g\tau^2, \quad x_{3m} = -\frac{\alpha(7\alpha - 2)}{2(\alpha + 1)}g\tau^2, \quad x_{4m} = -(7\alpha - 18)g\tau^2. \quad (10)$$

Отношения пиковых значений перемещений выражаются равенствами:

$$\frac{x_{4m}}{x_{3m}} = \frac{2(7\alpha - 18)(\alpha + 1)}{\alpha(7\alpha - 2)}, \quad \frac{x_{4m}}{x_{1m}} = \frac{(7\alpha - 18)(\alpha + 1)}{4\alpha(\alpha - 1)}. \quad (11)$$

При этом четвертый пик всегда больше остальных и соответствует моменту времени 16τ . Например, при $\alpha = 4,6$ (рис. 2в) имеем:

$$x_{4m} / x_{3m} = 1,145; \quad x_{4m} / x_{1m} = 1,200.$$

В рассматриваемом диапазоне изменения параметра α один цикл движения вибромашины T_B равен 20τ , что составляет пять циклов работы вибрационного механизма. При этом можно считать, что каждый цикл движения машины содержит два колебания с ударом плитой по грунту. В этом случае средняя частота колебаний рабочей плиты определится как:

$$f = 1/10\tau. \quad (12)$$

Мы рассмотрели закономерности перемещений рабочей плиты вибромашины при различном отношении величины вынуждающей силы к силе тяжести колеблющейся массы α . Из приведенных графиков видно, что наиболее стабильный режим работы машины по перемещениям соответствует изменению α от 3 до 4.

Однако эффективность воздействия машины на уплотняемый грунт зависит не от амплитуды колебаний рабочей плиты, а от скорости её падения на уплотняемую поверхность.

Чем больше скорость падения, тем больше импульс силы и кинетическая энергия с которой плита воздействует на грунт.

В табл.2 представлены полученные в результате анализа формулы, определяющие скорость падения плиты на грунт, при различных значениях α , а также указаны интервалы времени, в которые происходит первый и второй контакт плиты с грунтом (см. рис. 2).

Отсутствие данных в этой таблице при значениях α , изменяющихся от 2,778 до 3,267, связано с тем, что в этом диапазоне изменения α происходят многократные

повторные контакты плиты с грунтом, характеризующиеся малыми скоростями и малыми промежутками времени между контактами.

Графики зависимости скорости падения плиты на грунт от параметра α , построенные по этим формулам, показаны на рис. 3.

На них видно, что наиболее рациональным является диапазон изменения параметра α от 3,267 до 4,0.

В этом диапазоне обеспечивается одинаковое воздействие плиты на грунт с высокими скоростями при первом и втором контакте.

При выборе рациональных параметров вибромашины, учитывая возможные отклонения реальных значений параметра α от расчетных, целесообразно ограничить этот диапазон значениями: $3,5 < \alpha < 3,8$.

В вибромашине ВГ-1 такие значения параметра α обеспечиваются при давлениях рабочей жидкости, изменяющихся в пределах от 10,7 до 11,6 МПа.

Таблица 2

Формулы, определяющие скорость падения плиты на грунт

Диапазон изменения α	Интервал времени, в котором плита ложится на грунт		Скорость падения плиты на грунт	
	Первый контакт	Второй контакт	Первый контакт	Второй контакт
2,0...2,273	5 τ – 6 τ	10 τ – 11 τ	$g\tau\sqrt{\alpha(9\alpha - 16)}$	$g\tau\sqrt{\alpha(16 - 7\alpha)}$
2,273...2,571		11 τ – 12 τ		$g\tau\sqrt{2\alpha(13 - 5\alpha)}$
2,571...2,778		12 τ – 13 τ		$g\tau\sqrt{\alpha(15\alpha - 34)}$
2,778...3,0	6 τ – 7 τ	13 τ – 14 τ	$g\tau\sqrt{8\alpha(3 - \alpha)}$	
3,0...3,267	7 τ – 8 τ		$g\tau\sqrt{\alpha(36 - 11\alpha)}$	
3,267...4,0	8 τ – 9 τ	16 τ – 17 τ	$4g\tau\sqrt{\alpha(\alpha - 3)}$	$4g\tau\sqrt{\alpha(\alpha - 3)}$
4,0...4,263	9 τ – 10 τ	18 τ – 19 τ	$g\tau\sqrt{\alpha(17\alpha - 64)}$	$g\tau\sqrt{\alpha(64 - 15\alpha)}$
4,263...4,545		19 τ – 20 τ		$g\tau\sqrt{2\alpha(41 - 9\alpha)}$
4,545...4,765		20 τ – 21 τ		$g\tau\sqrt{\alpha(23\alpha - 98)}$
4,765 ...5,0	10 τ – 11 τ	20 τ – 21 τ	$4g\tau\sqrt{\alpha(5 - \alpha)}$	$g\tau\sqrt{\alpha(23\alpha - 98)}$

Наиболее неблагоприятным диапазоном изменения параметра α является диапазон от 2,778 до 3,267, в котором не обеспечивается эффективная работа вибромашины. Этому диапазону изменения параметра α в вибромашине ВГ-1 соответствуют давления от 8,5 до 10 МПа.

Обобщая результаты, полученные в данной работе, можно отметить, что при жесткой модели грунта характер колебаний вибромашины определяется только двумя параметрами α и τ .

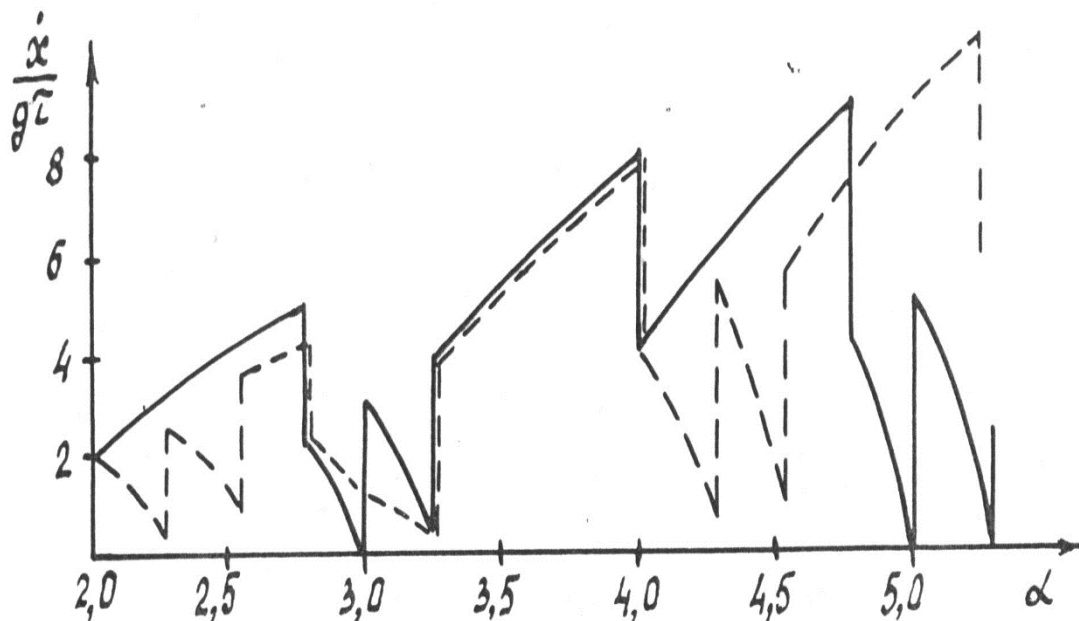


Рис. 3. Диаграммы зависимости скорости падения плиты на грунт от параметра α при первом контакте плиты с грунтом (сплошные линии) и втором контакте (штриховые линии)

При этом наиболее стабильный режим работы вибромашины с постоянным значением амплитуд колебаний, периодом колебаний равным двум периодам работы вибрационного механизма и с высокими скоростями воздействия на уплотняемый грунт обеспечивается при изменении параметра α от 3,267 до 4,0.

Это хорошо согласуется с рекомендациями, сделанными ранее другими учеными для вибромашин с вынуждающей силой, изменяющейся по гармоническому закону [3].

Выведенные соотношения могут быть использованы для обоснования рациональных параметров вибромашин с гидравлическими вибраторами.

Использованная литература

1. Джумабаев М.С. Гидравлический вибрационный механизм для уплотнения просадочных материалов/Вест.КГУСТА. Вып.2(12). – Бишкек, 2006. – С.99- 102.
2. Еремьянц В.Э., Ураимов М., Джумабаев М.С. Расчет параметров рабочего процесса вибратора ВГ-1 / Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2005. – С. 34-38.
3. Зубанов М.П. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей и грунта. – М.: Машиностроение, 1964. – 196 с.

