



УДК 625.084

© И. С. Тюремнов, И. С. Филатов, А. А. Игнатъев, 2014

## ОБЗОР РЕКОМЕНДАЦИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА

*Тюремнов И. С.* – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные и дорожные машины», e-mail: [turemnovis@ystu.ru](mailto:turemnovis@ystu.ru); *Филатов И. С.* – асп. кафедры «Строительные и дорожные машины», e-mail: [filatovis@ystu.ru](mailto:filatovis@ystu.ru); *Игнатъев А. А.* – доцент кафедры «Гидротехническое и дорожное строительство», e-mail: [alexassis@yandex.ru](mailto:alexassis@yandex.ru) (ЯГТУ)

В статье представлен обзор и анализ рекомендаций производителей вибрационных катков по оценке уплотняющей способности, определению производительности, назначению толщины уплотняемого слоя и требуемого числа проходов при уплотнении грунта.

*Ключевые слова:* грунт, уплотнение, катки вибрационные, производители вибрационных катков, рекомендации, производительность, толщина уплотнения грунта, коэффициент уплотнения, число проходов, режим работы.

В настоящее время в связи с ростом интенсивности движения и нагрузок на ось транспортных средств повышаются требования к качеству уплотнения грунтовых оснований и слоев дорожных одежд. Наиболее широкое распространение при уплотнении грунтов и конструктивных слоев дорожных одежд получили вибрационные катки.

Однако широкая номенклатура катков отечественных и зарубежных производителей, многообразие технологических условий производства работ, недостаточная изученность свойств уплотняемых материалов и отсутствие у производителей единого мнения о требуемых характеристиках катков приводят к возникновению проблем выбора эффективного средства механизации уплотнения в конкретных условиях и назначения режимов его работы. Это может быть проиллюстрировано на примерах рекомендаций производителей вибрационных катков, видимо, в наибольшей степени заинтересованных в повышении эффективности применения своей продукции и определению областей эффективной работы и производительности своих виброкатков.

Так, крупнейший российский производитель вибрационных катков - Рыбинское ОАО «РАСКАТ» в качестве рекомендаций по применению катков приводит таблицу [1], в которой для каждой модели катка приведены значе-

ния толщины уплотняемого слоя и числа проходов при одном ( $K_v=0,95$ ) или двух ( $K_v=0,95; 0,98$ ) значениях коэффициентов требуемого уплотнения для основных групп грунтов (табл. 1). Скорость уплотнения при работе на пылеватых песках и песчано-гравийной смеси рекомендуется принимать не более 2,0-2,5 км/ч при требуемом коэффициенте уплотнения  $K_v=0,98-1,0$ . При  $K_v=0,95$  скорость движения может быть повышена до 5-6 км/ч [1]. Рекомендаций по скоростному режиму при уплотнении других видов грунта не приводится.

Таблица 1

Рекомендации по применению вибрационных катков для уплотнения грунтов, выпускаемых ОАО «РАСКАТ» [1].

Мо- дель катка	Тип катка	Мас- са катка, т	Разновидность уплотняемого грунта	Толщина уплотня- емого слоя, см	Число проходов по следу	Дос- тига- емый $K_v$
ДУ-74	Шарнирно-сочлененный с двухколесным тягачом, гладковальцовый вибрационный	8,5	Песок обычный, в том числе пылеватый, песчано-гравийная смесь	30	8-10	0,98
				45-50	8-10	0,95
			Песок однородный с влажностью: 4-5 %	25	4-6	0,98
				40	3-4	0,95
			6-7 %	30	6-8	0,98
				45	4-6	0,95
Супесь, в том числе пылеватая, с оптимальной влажностью	20	8-10	0,98			
25-30	6-8	0,95				
Суглинок с влажностью $(0,95...1,05)W_0$	20	10-12	0,95			
ДУ-111	Шарнирно-сочлененный с двухколесным тягачом, гладковальцовый вибрационный	7	Песок обычный, в том числе пылеватый, песчано-гравийная смесь	20-30	8-10	0,98
				30-35	6-8	0,95
			Песок однородный с влажностью: 4-5 %	20	4-6	0,98
				35	3-4	0,95
			6-7 %	20-25	6-8	0,98
				30-40	4-6	0,95
Супесь, в том числе пылеватая, с оптимальной влажностью	35-40	6-8	0,95			

К сожалению, в рекомендациях ОАО «РАСКАТ» (см. табл. 1) [1] предлагается достаточно ограниченный набор значений коэффициентов уплотнения и толщин уплотняемых слоев, для которых приведены данные.

Один из ведущих мировых производителей вибрационных катков фирма НАММ при выборе катка предлагает использовать гистограммы [2], характе-



ризирующие возможности катков по уплотнению различных видов грунтов (рис. 1).

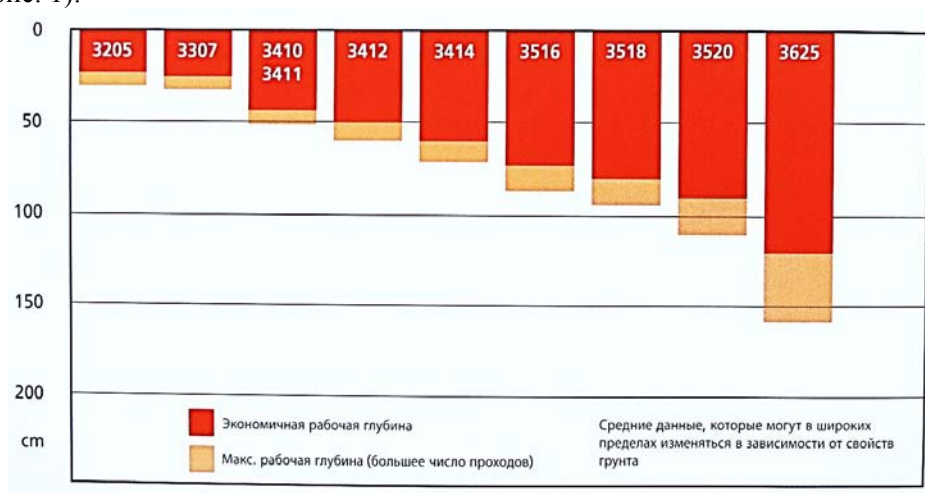


Рис. 1. Рекомендации по толщине уплотняемого слоя песка, гравия и щебня для различных моделей гладковальцовых вибрационных катков НАММ [2]

Так для уплотнения песка, гравия и щебня рекомендуется использовать вибрационные катки с гладким вальцом. Специалисты фирмы НАММ считают наиболее эффективным уплотнение грунтов на частотах 25-50 Гц [2]. При этом по мере уплотнения грунта предлагается уменьшать частоту колебаний для предотвращения работы катка в режиме колебаний с отрывом от грунта. Регулирование амплитуды колебаний по мере уплотнения грунта также рекомендуется осуществлять от максимальной в сторону уменьшения. Амплитуду колебаний рекомендуется уменьшать и при уменьшении толщины отсыпаемого слоя во избежание разрыхления его поверхности. Однако в рекомендациях НАММ [2] (см. рис. 1) не указывается исходный и достигаемый коэффициент уплотнения грунта. Также производитель НАММ указывает достаточно широкий диапазон требуемых для достижения плотности числа проходов (от 4 до 12), по существу, не давая ответа по выбору требуемого числа проходов.

Не менее известный производитель вибрационных грунтовых катков компания BOMAG предлагает в качестве рекомендаций таблицу (табл. 2) [3], в которой для основных видов грунта и ряда выпускаемых компанией Bomag моделей вибрационных грунтовых катков указана оптимальная толщина уплотнения. Компания BOMAG предлагает для своих вибрационных катков осуществлять уплотнение каменных материалов при скорости 1-2,5 км/ч и частоте вибрации 28-35 Гц, а гравелистых и песчаных грунтов при скорости движения 2-4 км/ч и частоте вибрации 28-60 Гц [3]. При выполнении работ тяжелыми вибрационными катками BOMAG рекомендуется использовать

низкую амплитуду, а при использовании средних по массе вибрационных катков - как низкую, так и высокую амплитуду вибрации. Однако из рекомендаций производителя не понятно, для какого коэффициента уплотнения приведены значения табл. 2. Также отсутствуют сведения и о требуемом количестве проходов вибрационного катка для уплотнения грунтов.

Таблица 2

Оптимальные значения толщины уплотнения грунтов виброкатками BOMAG

Модель катка	Масса катка, кг	Толщина уплотняемого грунта, м			
		щебень	гравий, песок	супесь	суглинок, глина
BW124DH-3	3850	-	0,35	0,25	0,15
BW145D-3	4990	-	0,40	0,30	0,15
BW177D-4	7500	-	0,45	0,35	0,15
BW179DH-4	9400	0,80	0,50	0,40	0,20
BW211D-4	10950	0,70	0,50	0,40	0,20
BW213D-4	12420	0,80	0,50	0,40	0,20
BW213DH-4BVC	14900	1,20	0,80	0,60	0,30
BW213DH-4 BVC/P (с виброплитами)	15300	1,20	0,80	0,60	0,30
BW214DH-4	14390	1,00	0,75	0,55	0,25
BW216D-4	15700	1,10	0,75	0,55	0,30
BW219DH-4	19200	1,60	1,20	0,80	0,35
BW226DH-4	25210	2,00	1,50	1,00	0,50
BW225D-3 BVC	25800	2,00	1,60	1,10	0,55
BW 6	6800	0,80	0,60	0,45	0,25

Крупнейший мировой производитель строительной техники фирма CATERPILLAR в качестве рекомендации по выбору катка приводит таблицу производительности (табл. 3) [4]. В данной таблице представлена расчетная производительность  $Q_p$  для конкретной модели катка при уплотнении расчетной толщины слоя  $h_p$  и расчетным числом проходов  $N_p$  (перекрытие полос 0,152 м).

Далее расчетную производительность  $Q_p$  необходимо скорректировать с учетом конкретных условий производства работ:

$$Q_{\phi} = Q_p \cdot \frac{v_{\phi}}{v_p} \cdot \frac{h_{\phi}}{h_p} \cdot \frac{N_p}{N_{\phi}}$$

где  $v_p$  – расчетная скорость движения виброкатка,  $v_p = 6,4$  км/ч;  $v_{\phi}$  – фактическая скорость движения виброкатка, км/ч;  $h_{\phi}$  – фактическая толщина уплотняемого слоя, м;  $N_{\phi}$  – фактическое число проходов катка.



Таблица 3

Таблица для определения производительности вибрационных катков  
CATERPILLAR [4]

Модель катка	Ширина вальца, м	Расчетная толщина уплотняемого слоя $h_p$ , см	Расчетное число проходов $N_p$	Расчетная производительность $Q_p$ , м <sup>3</sup> /ч		
				Гран-шея 3,7 м	Дорожное полотно 9,15 м	Площадка (>15 м)
CS323C	1,27	0,102	6	80	111	122
CS423E,	1,676	0,102	4	159	249	249
CS433E	2,134	0,152	6	239	299	324
CS533E, CS56	2,134	0,152	5	-	373	405
CS64	2,134	0,152	4	-	448	486
CS74	2,134	0,152	6	-	598	648
CS76	2,134	0,152	4	-	896	972
CS76 XT	1,27	0,152	6	120	133	183
CP323C	1,676	0,152	6	159	199	249
CP433E	2,134	0,305	6	478	478	647
CP533E, CP56	2,134	0,305	6	-	598	648
CP76						

Если протяженность участка уплотнения меньше 75 м, то фактическую производительность  $Q_f$  необходимо скорректировать, умножив полученное значение производительности на коэффициент эффективности уплотнения  $E_{TS}$ . Значение коэффициента эффективности уплотнения  $E_{TS}$  определяется из графика, представленного на рисунке 2 в зависимости от скорости движения катка [4].

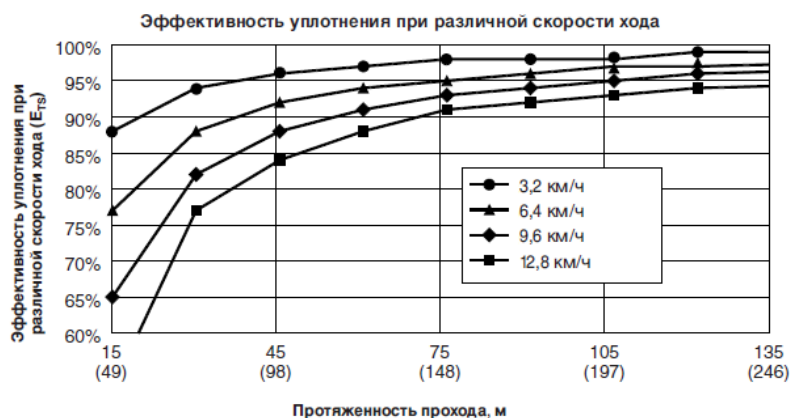


Рис. 2. Определение значений коэффициента эффективности уплотнения грунта виброкатками CATERPILLAR при различной скорости движения

В приведенной выше формуле расчета фактической производительности  $Q_f$  остается неизвестным значение фактического числа проходов катка  $N_f$ . Также неизвестно, для каких типов грунтов приводятся данные рекомендации. Не указаны исходный и достигаемый коэффициент уплотнения. Это приводит к фактической невозможности применения рекомендаций производителя [4] для практической деятельности.

Несколько по-другому вопрос обоснования выбора модели катка, назначения режимов его работы и определения производительности решен шведской компанией DYNAPAC, которая предлагает вместе со своей продукцией программу COMPBASE. Данная программа, разработанная на основании обработки результатов большого объема полевых испытаний катков DYNAPAC, на настоящий момент является наиболее информативным средством оценки уплотняющей способности и выбора режимов работы катков. Например, для катка DYNAPAC CA 302 D (масса 12700 кг, масса вибровальцового модуля 8100 кг, максимальное вынуждающее усилие 300 кН при частоте колебаний 33 Гц), уплотняющего песчаный грунт, программа COMPBASE предлагает данные по количеству проходов катка, необходимых для достижения заданной плотности (по стандартному или модифицированному методу Проктора) на разных глубинах (рис. 3 - 4), а также производительности уплотнения при различной скорости движения (рис. 5).

При этом в зависимости от глубины требуемого уплотнения рекомендуется и режим работы вибровозбудителя (например, для катка CA 302 D: без вибрации при толщине слоя менее 0,1 м; низкая амплитуда при толщине слоя 0,1-0,2 м; высокая амплитуда при толщине слоя более 0,2 м) (см. рис. 3).

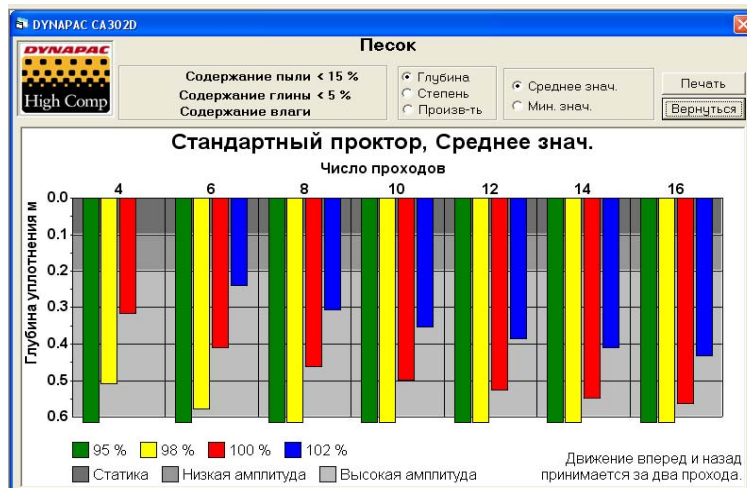


Рис. 3. Рекомендуемые режимы уплотнения песка катком DYNAPAC CA 302 D (программа COMPBASE, сводная диаграмма)

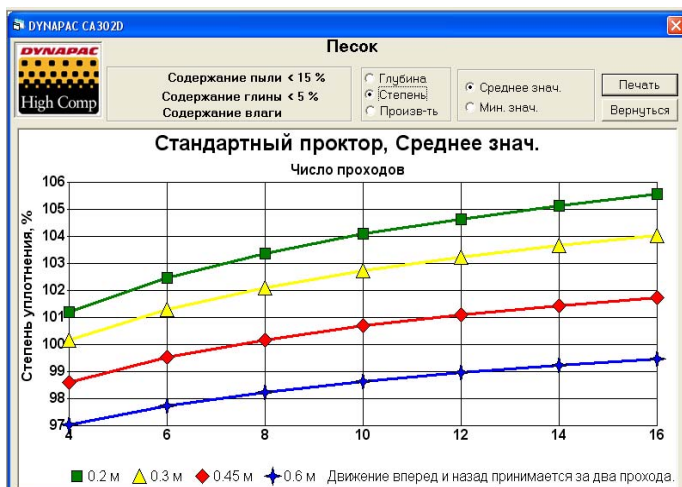


Рис. 4. Изменение плотности по проходам на различных глубинах при уплотнении песка катком DYNAPAC CA 302 D (программа COMBASE)

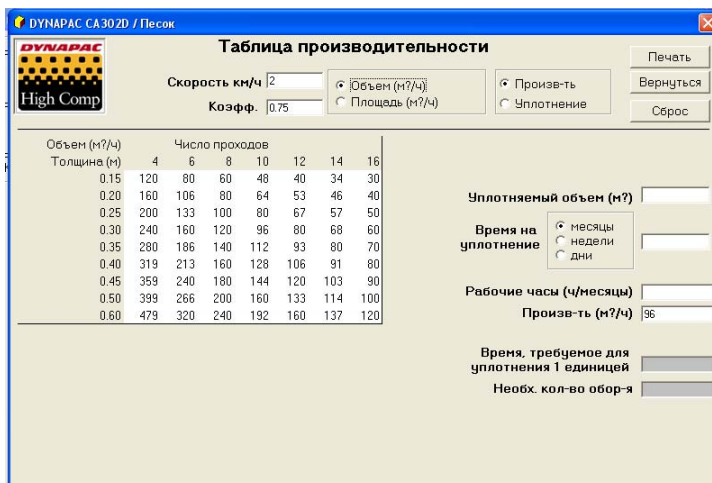


Рис. 5. Определение производительности при уплотнении песка катком DYNAPAC CA 302 D (программа COMBASE)

Причем при вибрационном уплотнении производитель рекомендует включение вибрации с первого прохода, т.е. без «подкатки». Частоту колебаний при уплотнении рекомендуется выбирать в диапазоне 25-50 Гц. Скорость движения - 3-6 км/ч. Также с увеличением толщины слоя и требуемого коэффициента уплотнения грунтов и каменных материалов необходимо уменьшать рабочую скорость, приближаясь к нижней границе этого диапазона [5].

Достоинством данной программы являются достаточно широкий набор видов грунта (песок, супесь, глина, естественное грунтовое основание, гра-



вий, каменная насыпь, песчано-гравийная смесь). Однако в программе COMPBASE не предусмотрена возможность работы с грунтами неоптимальной влажности. Следует также отметить, что данная программа предназначена только для катков фирмы DYNAPAC и не может быть применена к каткам других производителей.

Проведенный обзор показал, что не все производители катков могут дать подробные рекомендации по выбору уплотняющей техники и определению режимов ее работы и производительности в различных условиях производства работ.

Таким образом, в настоящее время актуальна разработка методики расчета влияния характеристик вибрационных катков на эффективность уплотнения грунта в конкретных условиях. Разработкой такой методики в настоящее время занимается коллектив кафедры «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета.

### Библиографические ссылки

1. *Уплотняющие машины*. Пособие по выбору оборудования для уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей (на примере машин, выпускаемых ЗАО «РАС-КАТ», г. Рыбинск) / Ложечко В.П., Шестопапов А.А., Окунев В.И., Окулов Р.Д. – Рыбинск, Рыбинский дом печати, 2004. – 79 с.
2. *Уплотнение асфальтобетона и грунта*. HAMM AG D02 03.2011 212 4832, 2011, 142 с.
3. *BOMAG*. Soil and Asphalt compaction. 03/04 Art. No WM 9703.
4. *Caterpillar*. Эксплуатационные характеристики. Справочник. Издание 38. Издание Cat® Caterpillar Inc., Пеория, Иллинойс, США. Январь 2008.
5. *Уплотнение и укладка*. Теория и практика (издание Дунарас Compaction Equipment AB) – С-Пб, «Рекламное агентство А.М.Г.», 2008, 90 с.

**Title:** Review of Manufacture Recommendations on the Use of Vibrating Rollers at the Soil Compaction

**Authors' affiliation:**

Tyuremnov I. S. – Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation  
Filatov I. S. – Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation  
Ignatjev A. A. – Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

**Abstract:** The article presents the review and analysis of recommendations of the vibration roller manufacturers on the sealing capacity, the determination of performance and the required number of passes for soil compaction.

**Keywords:** Soil, compaction, vibrating rollers, vibration roller manufacturers, recommendations, performance, compaction thickness, compacting factor, number of passes, operating mode.