

УДК 625.76.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-562-573>

ОБЗОР РЕКОМЕНДАЦИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАВЕСНЫХ ЭКСКАВАТОРНЫХ ВИБРОПЛИТ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ГРУНТОВ

И.С. Тюремнов, Д.В. Федорова
ФГБОУ ВО «ЯГТУ»,
г. Ярославль, Россия,

АННОТАЦИЯ

Введение. Навесные экскаваторные виброплиты (НВП), являющиеся сменным рабочим оборудованием экскаваторов, применяются для уплотнения грунтов обратных засыпок траншей, колодцев, пазух фундаментов и в других «узких» местах строительства, а также при уплотнении грунтов на наклонных поверхностях откосов насыпей и выемок.

При практическом использовании НВП строители сталкиваются с необходимостью решения двух задач: обоснования выбора модели НВП для уплотнения грунта в заданных условиях, определяемых видом грунта, влажностью грунта, толщиной слоя и требуемым коэффициентом уплотнения.

Определения длительности уплотнения НВП грунта при позиционном уплотнении в одной точке для обеспечения требуемого коэффициента уплотнения грунта заданного вида в слое требуемой толщины. Вышеприведенные задачи требуют наличия информации о технологических возможностях НВП при уплотнении грунтов в различных технологических ситуациях, причем оценка технологических возможностей НВП должна учитывать и осуществляющийся в настоящее время в РФ переход на новую нормативную базу в области показателей оценки результатов уплотнения грунтов в строительстве.

Материалы и методы. Обзор технологических возможностей НВП проводился на основе информации, предоставляемой на официальных сайтах основных отечественных и зарубежных производителей и поставщиков НВП.

Выводы. Анализ информации, предоставляемой производителями и поставщиками НВП, показал, что большинство предоставляемой информации относится к техническим характеристикам НВП и экскаваторов. Информация о технологических возможностях НВП практически отсутствует. Также при оценке технологических возможностей НВП производители и поставщики используют термины (например, «объем трамбования»), не имеющие однозначной трактовки.

Практическое значение. Отсутствие информации о технологических возможностях НВП при уплотнении грунтов в различных технологических ситуациях приводит к ошибкам при выборе модели НВП и назначении продолжительности работы при позиционном уплотнении грунта в одной точке, вследствие чего повышаются риски недоуплотнения грунтов и снижения срока службы возводимых объектов. Для решения данной проблемы на кафедре «Строительные и дорожные машины» ЯГТУ разрабатывается методика расчета результатов уплотнения грунта НВП при работе в различных технологических ситуациях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунт, уплотнение, вибрация, виброплита, виброплита навесная экскаваторная, глубина уплотнения, коэффициент уплотнения, вид грунта, режим работы, возможности технологические.

Поступила 25.08.20, принята к публикации 23.10.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Тюремнов И.С., Федорова Д.В. Обзор рекомендаций производителей по оценке технологических возможностей навесных экскаваторных виброплит при уплотнении грунтов. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (5): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-562-573>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-562-573>

© Тюремнов И.С., Федорова Д.В.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

REVIEW OF MANUFACTURERS' RECOMMENDATIONS ON TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF EJECTABLE EXCAVATOR VIBROPLATES ASSESSMENT DURING SOIL COMPACTION

I.S. Tiuremnov, D.V. Fedorova
Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

Introduction. Add-on compactors for excavators (ACE hereinafter) are replaceable working equipment for excavators. They are used for soil compaction after the backfill of trenches, wells, foundation cavities and other "narrow spaces" of construction, as well as soil compaction at slopes of embankments and excavations.

In practical use of ACE, builders face two challenges:

to justify the choice of an ACE for soil compaction under given conditions determined by the soil type and moisture, layer thickness, and the required compaction factor; to determine the time required to compact soil with an ACE at a single point positional compaction to ensure the required compaction factor of a given type of soil in a layer of required thickness.

The problems above require the information regarding technological capabilities of ACEs in different technological situations of soil compaction. The assessment of such technological capabilities of ACEs, at the same time, should take into account the ongoing transition to a new regulatory framework in Russia in the field of assessment indicators for the results of soil compaction in construction.

Materials and methods. ACE technological capabilities review was conducted based on the information provided on the official websites of the largest Russian and foreign ACE manufacturers and suppliers.

Conclusion. The analysis of information provided by ACE manufacturers and suppliers showed that most of that information is technical specifications of ACEs and excavators. There is almost no information on technological capabilities of ACEs. At the same time, ACE manufacturers and suppliers use ambiguous terminology (for example, "compaction volume") in the assessment of technological capabilities.

Practical value. Lack of information on technological capabilities of ACEs in various technological situations of soil compaction leads to errors in selection of an ACE model and its operation time during single point positional soil compaction, which increases the risk of under compaction and reduced service life of constructed objects. To solve this problem, the Construction and Road-Building Machinery Department of Yaroslavl State Technical University is developing a methodology for calculating the results of soil compaction with an ACE in different technological situations.

KEY WORDS: soil, compaction, vibration, vibrating plate, vibrating plate compactor, statistical analysis, determination coefficient, driving force, operating weight, vibration frequency, base size, excavator weight.

Submitted 25.08.20, revised 23.10.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Tiuremnov I.S., Fedorova D.V. Review of manufacturers' recommendations on technological capabilities of ejectable excavator vibroplates assessment during soil compaction. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (5): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-562-573>

© Tiuremnov I.S., Fedorova D.V.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Навесные экскаваторные виброплиты (НВП) применяются для уплотнения грунтов обратных засыпок траншей, колодцев, в пазухах фундаментов и других «узких» местах, а также при уплотнении откосов насыпей и выемок [1]. Данное оборудование является сменным рабочим оборудованием экскаваторов и устанавливается на рукоять вместо экскаваторного ковша. В отличие от самоходных виброплит и вибрационных катков НВП чаще всего работают позиционно и обеспечивают уплотнение грунта от рыхлого до плотного состояния за одну установку. При этом на НВП через стрелу и рукоять может передаваться часть веса экскаватора, что увеличивает статическое давление НВП на грунт и эффективность уплотнения. Возможность установки НВП на экскаваторы различной массы, использование НВП на различном вылете и участие машиниста экскаватора в регулировании усилия прижима НВП стрелой экскаватора усложняет оценку усилия, передаваемого на НВП от экскаватора.

При оценке технологических возможностей НВП наибольшее практическое значение имеют две задачи:

1. Обоснование выбора модели НВП для работы в заданных условиях, определяемых видом грунта, влажностью грунта, толщиной слоя и требуемым коэффициентом уплотнения.
2. Обоснование режима работы НВП, определяемого длительностью воздействия на грунт в одной точке для обеспечения заданного коэффициента уплотнения грунта известного вида и влажности в слое заданной толщины.

Дополнительную трудность при решении вышеперечисленных задач вызывает осуществляемый в настоящее время в РФ переход на новую нормативную базу. Если раньше результат уплотнения грунта оценивался коэффициентом уплотнения в соответствии с СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*», ГОСТ 5180–2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» и ГОСТ 22733–2016 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности», то в новых нормативных документах (ПНСТ 311–2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Показатели деформативности конструктивных слоев дорожной одежды из несвязных материалов и грунтов земляного полотна. Технические требования и методы определения») результат уплотнения грунта и каменных материалов оценивается статическим и динамическим модулем деформации. С одной стороны, это позитивное и давно ожидаемое решение, поскольку использование показателя «коэффициент уплотнения» для оценки качества уплотнения грунта сопряжено с множеством недостатков, а для каменных материалов вообще не применимо [2–7]. С другой стороны, в РФ имеется [5, 8] лишь ограниченный объем исследований по оценке корреляции значений статического и, особенно, динамического модуля деформации грунтов различных видов и влажностей как между собой, так и со значением коэффициента уплотнения [9–11], что не позволяет использовать результаты проводимых ранее исследований применительно к новой нормативной базе. В дальнейшем в данной статье результат уплотнения грунта будет оцениваться коэффициентом уплотнения, поскольку это более привычный показатель. При этом имеется в виду, что должна существовать корреляционная связь между значением коэффициента уплотнения и значениями статического и динамического модуля деформации грунта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа использовались данные о характеристиках НВП основных отечественных и зарубежных производителей, предоставляемые на официальных сайтах компаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ведущий российский поставщик сменного рабочего оборудования для спецтехники компания «Традиция-К» предоставляет информацию о характеристиках поставляемых НВП, приведенную в таблице 1^{1, 2}. Большинство предоставляемой информации относится к техническим характе-

¹ Виброплиты Традиция-К [Электронный ресурс] // Традиция-К [Официальный сайт]. – URL: <https://www.tradicia-k.ru/product/vibrotrambovka-delta-cp-30/> (дата обращения: 23.09.2019).

² Виброплиты Традиция-К. Вибротрамбовки. Применение, принцип работы, выбор [Электронный ресурс] // Традиция-К [Официальный сайт]. – URL: <https://www.tradicia-k.ru/articles/vibrotrambovki-primenenie-princip-raboty-vybor/>.

Таблица 1
Характеристики НВП Delta^{1, 2}

Table 1
Characteristics of VPC Delta

Модель	Масса, кг	Масса экскаватора, т	Размер плиты, мм	Центробежная сила, кН	Частота, Гц	Объем трамбования, м ³	Расход, л/мин	Давление, атм	Амплитуда колебаний, мм	Статический момент, кг*м
Delta CP25	225	2-8	730x390	24	40	н/д	30/50	170/200	н/д	н/д
Delta CP30	360	7-12	600x990	19-29	40	0,2	70/100	90-130	1,3	0,14
Delta CP35	360	7-14	600x920	50	36,6	н/д	65/90	80-260	н/д	
Delta CP80	800	10-16	750x1183	68,6-78,5	36,6	0,8	140/190	120/160	3,8	0,82
Delta CP85	800	15-20	750x1120	78	36,6	н/д	99/125	115-200	н/д	н/д
Delta CP100	1050	14-25	950x1338	88,3-107,9	33,3	1,0	160/230	130/170	4,4	1,3
Delta CP105	1050	19-25	950x1270	127	33,6	н/д	120/150	115-230	н/д	н/д
Delta CP120	1300	18-35	1000x1373	98,1-147,1	33,3	1,2	170/240	150/190	5,2	1,8
Delta CP150	1800	30-40	1000x1577	147,1-196,1	36,6	1,7	260/280	250/300	н/д	н/д
н/д – нет данных.										

ристикам моделей НВП и базовой машины (экскаватора). К технологическим характеристиками относится только «объем трамбования».

Для выбора модели плиты компания «Традиция-К» приводит значения «удельного импульса силы» или «импульса напряжения», наиболее эффективные для уплотнения насыпных грунтов до коэффициента уплотнения 0,95². Однако в характеристиках представляемых моделей НВП не приводятся соответствующие значения «удельного импульса силы» или «импульса напряжения», что не позволяет использовать предоставляемые рекомендации в практических целях. При этом, в соответствии с СП 34.13330.2012, коэффициент уплотнения 0,95 недостаточен для грунтов рабочего слоя земляного полотна. А рекомендации для других значений коэффициента уплотнения не приводятся.

Следует также отметить, что термин «удельный импульс силы» по размерности и смыслу соответствует термину «удельный импульс удара», предложенному проф. Н.Я. Хархутой для описания процессов ударного уплотнения грунтов и определяемого по формуле [12]:

$$i = \frac{mV}{F}, \quad (4)$$

где m – масса рабочего органа, кг; V – скорость удара, м/с; F – площадь основания рабочего органа, м².

Из зависимости (1) следует, что для определения значения удельного импульса удара необходимо определение значений массы рабочего органа и его скорости в момент касания грунта. Поскольку вынуждающее усилие вибровозбудителя НВП примерно в 10 раз превышает вес НВП [13], а уплотняющая плита с закрепленным на ней вибровозбудителем крепится к верхней части НВП через амортизаторы, то в процессе колебаний возможен периодический отрыв уплотняющей плиты НВП от грунта и реализация различных режимов колебаний, аналогичных режимам колебаний вибрационных катков «постоянный контакт», «частичный отрыв», «двойной прыжок» и других [14-15]. Это приводит к существенным трудностям определения скорости НВП в момент касания грунта, поскольку высота отскока, время движения в отрыве от грунта и скорость удара будут зависеть от частоты и вынуждающей силы вибровозбудителя; количества, характеристик и способа установки амортизаторов; свойств грунта и дополнительного прижима со стороны экскаватора. При этом по мере уплотнения грунта от рыхлого состояния до плотного в результате изменения упругих характеристик грунта возможно изменение режима колебаний НВП, а следовательно, и скорости в момент касания грунта, что будет приводить к изменению значения удельного импульса удара.

Также возникают трудности с определением значения массы рабочего органа m в процессе колебаний. Для многих грунтоуплотняющих вибрационных машин, в том числе и для НВП, динамическая составляющая передаваемого на грунт усилия существенно превышает статический вес элементов оборудования. Результирующая сила, передаваемая на грунт, как и скорость удара, будет зависеть от характеристик НВП (масс нижней и верхней частей НВП; частоты и вынуждающего усилия колебаний; количества, характеристик и способа установки амортизаторов), свойств грунта и пригрузки со стороны экскаватора.

Таким образом, аналитическое определение численного значения удельного импульса удара связано с серьезными трудностями, в т. ч. обусловленными постоянно изменяющимися в процессе уплотнения свойствами грунта. С учетом вышесказанного, а также того, что в характеристиках представляемых моделей НВП не приводятся соответствующие значения «удельного импульса силы» или «импульса напряжения», приведенные «Традиция-К» рекомендации не могут быть использованы для практических целей – выбора модели НВП для выполнения работ в конкретных условиях.

В рекомендациях компании «Традиция-К» по выбору НВП² отмечается, что глубина уплотнения может быть определена в результате деления «объема трамбования» на площадь опорной поверхности плиты. Однако объем уплотняемого в массиве грунта может иметь разную форму. Исследователи предлагают описывать форму уплотняемого грунта различными фигурами: усеченная пирамида [16], гиперболоид [17], «луковица» [18-19], усеченная призма [20], полусфера и др. В рекомендациях «Традиция-К» не указывается о предполагаемой форме, занимаемой уплотненным грунтом, что может приводить к существенному разбросу результирующих значений глубины уплотнения грунта при использовании различных моделей НВП. Также известно [12, 21], что при уплотнении вибрационными и ударными нагрузками плотность грунта распределяется по толщине слоя неравномерно, уменьшаясь по глубине, поэтому наибольшие трудности возникают при уплотнении грунта на нижней границе слоя. Причем трудности уплотнения грунтов слоями большой толщины возрастают с увеличением связности грунтов, определяемой содержанием глинистых частиц в грунте [12].

С другой стороны, требуемое число проходов самоходной машины или время воздействия машины, работающей позиционно (как НВП), нелинейно возрастает с увеличением коэффициента уплотнения грунта [12]. Поэтому время воздействия НВП должно зависеть от вида грунта, толщины слоя и требуемого коэффициента уплотнения. Однако в рекомендациях «Традиция-К» сведения о требуемом времени воздействия представляемых моделей виброплит при уплотнении различных видов грунта с учетом обеспечения заданного коэффициента уплотнения не приводятся, что не позволяет строителям принимать обоснованные решения по назначению режима работы НВП, определяемом продолжительностью её работы.

Российская компания Технопарк «Импульс» производит серию НВП, применяемых для уплотнения песка средней крупности, гравия и асфальта. Указывается, что производимые НВП могут применяться для обустройства различных строительных площадок, траншей различного назначения (под коммуникации, фундаменты и т.д.), при планировочных работах, для проведения различных дорожных и ремонтно-строительных работ. Основные технические характеристики НВП Impulse приведены в таблице 2^{1, 2, 3}. Большинство предоставляемой информации (см. таблицу 2) относится к техническим характеристикам НВП. Технологические возможности представлены лишь параметром «объем трамбования». Однако данный параметр не имеет однозначного определения и допускает различные оценочные значения глубины уплотнения, о чем было сказано выше. Также следует отметить, что термин «трамбование» не соответствует режиму работы НВП, поскольку при трамбовании интервал времени между отдельными воздействиями существенно превышает продолжительность одного воздействия. Режим работы НВП более корректно назвать виброударным, поскольку частота воздействий превышает 1 Гц и при каждом воздействии рабочий орган может отрываться от грунта. Таким образом, компания «Импульс» также не предоставляет рекомендаций по оценке технологических возможностей НВП с учетом вида грунта и требуемого коэффициента уплотнения, что не позволяет обоснованно решать задачи выбора модели НВП для выполнения работ в заданных условиях и назначать режимы уплотнения.

³ Вибротрамбовка на экскаватор [Электронный ресурс] // Импульс [Официальный сайт]. – URL: <https://www.impulse.su/katalog/stroitelstvo/vibrotambovki-na-ekskaatory>.

Таблица 2
Характеристики НВП Impulse (Россия)^{1, 2, 3}

Table 2
Characteristics of VPC Impulse

Модель	Вы- нужда- ющее уси- лие, кН	Ча- стота вибра- ции, Гц	Размеры плиты, мм	Давле- ние, атм	Расход, л/ мин	Масса, кг	Объем Трам- бова- ния, м ³	Масса экскава- тора, т	Ам- пли- туда коле- баний, мм	Стати- ческий мо- мент, кг*м
V30	26	40	850x600	90-130	70-100	360	0,2	2-8	1,3	0,14
V60	53	38,3	850x700	100-140	80-110	550	0,6	6-14	н/д	н/д
V80	71	36,6	1100x750	120-160	140-190	800	0,8	10-16	н/д	н/д
V100	89	33,3	1250x950	130-170	160-230	1050	1	14-25	4,5	1,3
V120	98	33,3	1300x1000	150-190	170-240	1300	1,2	18-35	н/д	н/д
н/д – нет данных										

Один из ведущих мировых производителей оборудования для уплотнения дорожно-строительных материалов компания AMMANN предлагает широкую линейку НВП серии APA с массой от 160 до 1170 кг (таблица 3⁴). Для определения области применения НВП, компания AMMANN предоставляет рекомендации (таблица 4⁵). Данные рекомендации позволяют получить некоторое представление о технологических возможностях НВП от компании AMMANN, однако в них приводятся значения толщины уплотняемого слоя из различных материалов без указания достигаемого коэффициента уплотнения и требуемой продолжительности уплотнения для обеспечения требуемой плотности, что существенно снижает возможность применения данных рекомендаций для решения практических задач. Также из

рекомендаций AMMANN (см. таблицу 4) неясно, как будет изменяться продолжительность уплотнения и достигаемая плотность при уплотнении материалов толщинами слоев, отличающихся от приведенных в таблице 4.

Компания AtlasCopco производит НВП серии HC массой от 160 до 1135 кг. Технические характеристики НВП фирмы AtlasCopco приведены в таблице 5⁶. Компанией AtlasCopco приводятся только технические характеристики НВП и отсутствует информация о технологических возможностях данного оборудования (глубине уплотнения различных видов грунта и достигаемом коэффициенте уплотнения грунта), что не позволяет обоснованно выбирать модель НВП AtlasCopco для производства работ в конкретных условиях и назначать режимы работы оборудования.

⁴ AMMANN: Machines. APA series. [Электронный ресурс] Дата обновления: 20.03.2020. – URL: https://1n000s1caj2j2lxh39vxh8l5-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/apa_add-on_compactors_brochure_mpb-1581-01-en-1.pdf

⁵ AMMANN: Light compaction. [Электронный ресурс] Дата обновления: 20.03.2020. URL: https://1n000s1caj2j2lxh39vxh8l5-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/light_compaction_brochure_mpb-1577-07-en_200129.pdf.

⁶ AtlasCopco [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.02.2020. – URL: <http://atlas-co.ru/catalog/uplotniteli-kompaktory.html>.

Таблица 3
Технические характеристики НВП АММАНН⁴

Table 3
Technical characteristics of VPC AMMANN

Модель вибро-плиты	Масса, кг	Масса экскаватора, т	Вынуждающее усилие, кН	Частота вибрации, Гц	Расход, л/мин	Размеры плиты, мм	Рабочее давление, бар	Обратное давление, бар
APA 20/30	160	5	20	60	40-60	300x875	100	30
APA 20/40	170	5	20	60	40-60	400x875	100	30
APA 55/46	370	12	55	45	50-80	460x1142	150	30
APA 55/56	385	12	55	45	50-80	560x1142	150	30
APA 55/64	370	12	55	60	70-110	640x1142	150	30
APA 72/74	950	10-20	72	36	90	740x1142	150	30
APA 75/74	950	12/25	82	36	150	740x1142	250	10
APA 75/74 2M	950	12/25	75/40	36/55	150	740x1142	250	10
APA 100/88	1170	18/40	110	36	150	880x1295	250	10
APA 100/88 2M	1170	18/40	100/55	36/55	150	880x1295	250	10

Таблица 4
Рекомендации по применению НВП АММАНН⁵

Table 4
Recommendations for use VPS AMMANN

Модель НВП	Применимость *				Толщина слоя, см			
	Утолщенные тротуарные блоки (толще 10 см)	Небольшие тротуарные блоки (тоньше 10 см)	Асфальт (с системой разбрызгивания воды)	Каменные материалы	Песок/гравий	Смешанный грунт	Связный грунт	Растительный грунт
APA 20/30	0	0	-	0	35	30	40	40
APA 20/40	0	0	-	0	30	25	35	35
APA 55/46	0	0	-	0	55	60	65	60
APA 55/56	0	0	-	0	50	55	60	55
APA 55/64	0	0	-	0	45	50	55	50
APA 72/74	0	-	-	0	60	55	55	55
APA 75/74	0	-	-	0	50	65	65	65
APA 75/74 2M	0	-	-	0	60	65	65	65
APA 100/88	0	-	-	0	80	90	100	90
APA 100/88 2M	0	-	-	0	85	90	100	90

* Примечание. «-» – не подходит; «0» – подходит с ограничениями; «+» – подходит.

Компания Indeco (Италия) производит две линии НВП: IHC и IHC R, отличающихся наличием ротатора (буква «R» в названии НВП). В характеристиках выпускаемых НВП, приведенных в таблице 6⁷, компания Indeco приводит только технические сведения, без указания технологических возможностей НВП, что

не позволяет осуществить выбор модели НВП для уплотнения грунта заданного вида слоем требуемой толщины до обеспечения заданного проектом коэффициента уплотнения, а также не позволяет обосновать время уплотнения для работы в конкретных условиях производства работ.

⁷ Indeco Compactors. IHC and IHC R Series [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.02.2020. URL: <https://www.indeco.it/en/products/1080/compactors.php>.

Таблица 5
Технические характеристики НВП AtlasCopco⁶

Table 5
Technical characteristics of VPC AtlasCopco

Модель	HC 150	HC 350	HC 450	HC 850	HC 1050	HC 1055
Масса НВП, кг	160	320	430	880	1130	1135
Масса экскаватора, т	1-3	3-8	4-9	9-20	20-40	20-40
Вынуждающее усилие, кН	13,7	22,5	35	71,6	103	114
Частота вибрации, Гц	35	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6
Размеры плиты, мм	721x295	929x610	929x610	1272x710	1364x864	1364x864
Давление, бар	150	150	150	150	150	150
Расход, л/мин	30	57	76	114	151	189

Таблица 6
Технические характеристики НВП Indeco⁷

Table 6
Technical characteristics of VPC Indeco

Модель виброплиты	Масса, кг	Масса экскаватора, т	Вынуждающее усилие, кН	Частота вибрации, Гц	Размеры основания, мм	Высота, мм	Расход, л/мин	Рабочее давление, бар	Уплотняющее воздействие, Н/см ²
INC 50	200	8-12	29,5	33-50	760x300	560	45-70	240	16,7
INC 70	450	3,5-13	39	33,3	865x460	600	75	200	10,8
INC 75	410	4-14	39	33,3	865x635	600	76	200	10,8
INC 150	799	8-22	98	33,3	1194x710	790	121	200	17,7
INC 250	996	15-45	167	30/37	1220x890	800	189	170	21,6
INC R 50	425	3,5-13	29,5	33/50	305x760	880	45/70	240	16,7
INC R 70	630	6,5-16	39	33	460x840	930	75	200	10,8
INC R 75	670	7-16	39	33	640x870	930	75	200	10,8
INC R 150	1185	15-25	98	33	710x1200	1080	120	200	17,7

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ характеристик и рекомендаций по применению НВП основных отечественных и зарубежных производителей показывает, что производители не предоставляют информацию для решения основных практически важных задач: обоснования выбора модели НВП для работы в различных технологических условиях и обоснования режима работы НВП для обеспечения требуемого коэффициента уплотнения заданного вида грунта в слое требуемой толщины.

Данная проблема характерна не только для группы достаточно специфического и не очень широко распространенного грунтоуплотняющего оборудования, к которому относятся НВП. Аналогичная ситуация (с весьма ограниченными рекомендациями по обоснованию

выбора модели и назначению режимов работы в различных условиях производства работ) характерна и для наиболее распространенных видов машин для уплотнения грунтов – вибрационных катков и самоходных вибрационных плит [22-23]. Представляется, что причина этого заключается в следующих факторах:

- разнообразии грунтовых и технологических условий производства работ;
- недостаточности данных о механических характеристиках грунтов различного вида и коэффициента уплотнения при воздействии статических, вибрационных и ударных нагрузок;
- сложности и недостаточной исследованности процессов, происходящих в грунте при виброударном нагружении его поверхности;

– сложности исследования колебательных процессов в системе «грунт-рабочий орган-рама» с учетом изменяющихся в процессе уплотнения свойств грунта.

Вышеперечисленные факторы сдерживают разработку методики расчета влияния характеристик НВП на результаты уплотнения грунта в конкретных условиях производства работ.

Однако накопленный на кафедре «Строительные и дорожные машины» ЯГТУ опыт исследования процессов уплотнения грунтов трамбующими машинами [24], вибрационными катками [25-26] и самоходными вибрационными плитами [27] позволяет рассчитывать на возможность разработки методики расчета результатов уплотнения грунта для НВП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко И.Н., Мирзоев В.В., Михайлов Р.В., Марковчин С.Г., Салаяев С.И. Применение навесного оборудования для уплотнения грунтов и искусственных насыпей транспортных магистралей // Механизация строительства. 2012. № 8 (818). С. 2-10.
2. Тюремнов И. С., Игнатьев А.А. Нужен единый подход в совершенствовании критериев уплотнения дорожно-строительных материалов // Автомобильные дороги, 2010, №5 (942). С. 67-69.
3. Костельов М.П., Пахаренко Д.В. Инновации для высокого качества дорожных работ и объектов ЗАО «ВАД» // Дорожная техника, 2009, с. 36-52.
4. Костельов М.П., Пахаренко Д.В. Опыт фирмы ВАД по устройству плотных, прочных и жестких щебеночных дорожных оснований // Дорожная техника, 2006, с. 12-23.
5. Сазонова С.А., Румянцев С.Д. Применение экспресс-методов для определения характеристик насыпных грунтов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 3. – С. 113–120. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.13
6. Труфанов А.Н., Ростовцев А.В. К вопросу развития нормативной базы лабораторных испытаний грунтов // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 79-84. URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2016&v=10&p=00&r=11>.
7. Козлов А.В. Проблемы интерпретации результатов штамповых испытаний при контроле качества уплотнения грунтов земляного полотна и оснований дорожных одежд // Полевые и лабораторные методы исследования грунтов – проблемы и решения. Материалы Общероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 92-101.
8. Горячев М.Г. К вопросу о заимствовании норм ФРГ на минимальный модуль деформации рабочей части земляного полотна для расчёта дорожных одежд в России // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2020. № 1 (23). С. 3.
9. Махмутов М.М., Сахапов Р.Л. О качестве уплотнения грунтов земляного полотна // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2 (32). С. 289-294. URL: https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhurnal/arkhiv-zhurnal?sod=sod2_2015&idizv=500.
10. Стригун К.Ю. Применение установок динамического нагружения для контроля степени уплотнения грунтов // Наука XXI века: опыт прошлого – взгляд в будущее. материалы II Международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации. 2016. С. 257-261.
11. Стригун К.Ю. Применение установок динамического нагружения для контроля степени уплотнения грунтов // Вестник магистратуры. 2016. № 5-2 (56). С. 88-90.
12. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Москва, Транспорт, 1975, 288 с.
13. Тюремнов И.С., Федорова Д.В. Статистический анализ технических характеристик навесных экскаваторных виброплит // Вестник СибАДИ. 2019. № 16(2). Рр. 122-133. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-122-133>.
14. Adam, D. Operational Devices for Compaction Optimization and Quality Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device) / Adam D., Kopf F. // Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction, Athens, Greece. 2004. Рр. 97-106.
15. И. С. Тюремнов. Обзор систем непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков. Часть 3. Особенности функционирования и «интеллектуальное уплотнение» // Вестник ТОГУ. 2016. № 2(41). С. 115-122. URL: <http://pnu.edu.ru/vestnik/pub/articles/2226/>.
16. Савельев С.В., Бурый Г.Г. Алгоритм определения параметров вибрационных катков, учитывая массу уплотняемого грунта в зоне активного действия вибрации // Избранные доклады II Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ–2015)» 2016. С. 327-332.
17. Белостоцкий Б.А. К расчету оптимальных параметров трамбующих машин. Ленинградское правление НТО Стройиндустрии СССР, 1959. С.3-11.
18. Костельов М.П. «Умные виброкатки» для дорожников (обзор с оценкой новинок последнего времени) // Каталог-справочник «Дорожная техника – 2006». 2006. С. 30-62.
19. Черныш А.С. Уплотнение грунтов с одновременным вытрамбовыванием котлованов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 112-119.
20. Савельев С.В., Бурый Г.Г., Аднагулова З.Р. Методика обоснования параметров вибрационных

катков для уплотнения грунтовых насыпей, учитывающая зону активного действия вибрации // Обращение. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. 2020. С. 54-60.

21. Костельов М.П. Влияние импульсного воздействия на пластические деформации связного грунта под жестким штампом // Динамика оснований и фундаментов. Труды 2-й конференции. Москва, 1969. Т. 2. С. 65-70.

22. Тюремнов И.С., Филатов И.С., Игнатьев А.А. Обзор рекомендаций производителей по использованию вибрационных катков для уплотнения грунта // Вестник ТОГУ. 2014. № 2(33). С. 155-162. URL: <http://pnu.edu.ru/vestnik/pub/articles/1961/>

23. Тюремнов И.С., Новичихин А.А., Филатов И.С. Обзор рекомендаций производителей по использованию вибрационных плит для уплотнения грунта // Механизация строительства. 2014. № 12. С. 28-32.

24. Тюремнов И.С., Разумов С.В., Доценко А.И. Методика расчета параметров и режимов работы двухмассных рабочих органов трамбующих машин // Известия вузов. Машиностроение, 2005. №2, С. 37-44.

25. Тюремнов И.С., Игнатьев А.А. Уплотнение грунтов вибрационными катками. Ярославль, Изд-во ЯГТУ, 2012. 140 с.

26. Тюремнов И.С., А.С. Морев. Системы непрерывного контроля уплотнения грунта вибрационными катками. Ярославль, Изд-во ЯГТУ, 2019. 172 с.

27. Тюремнов И.С., Новичихин А.А. Уплотнение грунтов вибрационными плитами. Ярославль, ЯГТУ, 2018. 143 с.

REFERENCES

1. Kravchenko I.N., Mirzoev V.V., Mikhaylov R.V., Markovchin S.G., Salyaev S.I. Primenenie navesnogo oborudovaniya dlya uplotneniya gruntov i iskusstvennykh nasypey transportnykh magistralei [Application of attachments for compaction of soils and artificial embankments of transport highways]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2012; 8 (818): 2-10. (in Russian)

2. Tyuremnov I. S., Ignat'ev A.A. Edinyi' podchod v sovershenstvovanii kriterie uplotneniya dorogno-stroitel'nykh materialov [We need a unified approach to improving the criteria for compaction of road construction materials]. *Avtomobil'nye dorogi*. 2010; 5 (942): 67-69. (in Russian)

3. Kostel'ov M.P., Pakhareno D.V. Innovatsii dlya vysokogo kachestva dorozhnykh rabot i ob'ektov ZAO «VAD» [Innovations for high-quality road works and facilities of JSC «VAD»]. *Dorozhnaya tekhnika*. 2009. 36-52. (in Russian)

4. Kostel'ov M.P., Pakhareno D.V. Opyt firmy VAD po ustroystvu plotnykh, prochnykh i zhestkikh shchebenochnykh dorozhnykh osnovaniy [VAD company's experience in the construction of dense, strong and rigid crushed stone road foundations].

Dorozhnaya tekhnika. 2006. 12-23. (in Russian)

5. Sazonova S.A., Rumyantsev S.D. Primenenie ekspress-metodov dlya opredeleniya kharakteristik nasypnykh gruntov [Application of Express methods for determining the characteristics of bulk soils]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2017; 8(3). 113-120. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.13. (in Russian)

6. Trufanov A.N., Rostovtsev A.V. K voprosu razvitiya normativnoy bazy laboratornykh ispytaniy gruntov [On the development of the regulatory framework for laboratory testing of soils]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016; 10: 79-84. URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2016&v=10&p=00&r=11>. (in Russian)

7. Kozlov A.V. Problemy interpretatsii rezul'tatov shtampovykh ispytaniy pri kontrole kachestva uplotneniya gruntov zemlyanogo polotna i osnovaniy dorozhnykh odezhd [Problems of interpretation of the results of stamp tests in quality control of compaction of the groundbed and road surface bases]. *Polevye i laboratornye metody issledovaniya gruntov – problemy i resheniya. Materialy Obshcherossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2019. 92-101. (in Russian)

8. Goryachev M.G. K voprosu o zaimstvovanii norm FRG na minimal'nyy modul' deformatsii rabochey chasti zemlyanogo polotna dlya raschiota dorozhnykh odezhd v Rossii On the issue of borrowing the German norms for the minimum modulus of deformation of the working part of the roadbed for calculating road surfaces in Russia []. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2020; 1 (23). 3 p. (in Russian)

9. Makhmutov M.M., Sakhapov R.L. O kachestve uplotneniya gruntov zemlyanogo polotna [About the quality of compaction of the groundbed // Proceedings of the Kazan state University of architecture and civil engineering]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015; 2(32). 289-294. URL: https://izvestiya.kgasu.ru/ru/nomera-zhurnal/arkhiv-zhurnal/?sod=sod2_2015&idizv=500. (in Russian)

10. Strigun K.YU. Primenenie ustanovok dinamicheskogo nagruzheniya dlya kontrolya stepeni uplotneniya gruntov [Application of dynamic loading units for monitoring the degree of soil compaction]. *Nauka XXI veka: opyt proshlogo – vzglyad v budushchee. Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii..* 2016. 257-261. (in Russian)

11. Strigun K.YU. Primenenie ustanovok dinamicheskogo nagruzheniya dlya kontrolya stepeni uplotneniya gruntov [Application of dynamic loading units for monitoring the degree of soil compaction]. *Vestnik magistratury*. 2016; 5-2 (56). 88-90. (in Russian)

12. KHarkhuta N.YA., Vasil'ev YU.M. Prochnost', ustoychivost' i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog [Strength, stability and compaction of the soil subgrade of highways]. Moscow, Transport, 1975. 288 p. (in Russian)

13. Tyuremnov I. S., Fedorova D. V. Statisticheskiy analiz tehnikeskikh kharakteristik navesnykh

eksikatornykh vibroplit [Statistical analysis of technical characteristics of mounted excavator vibrating plates]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(2): 122-133. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-122-133>. (in Russian)

14. Adam, D., Kopf F. Operational Devices for Compaction Optimization and Quality Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device). *Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction, Athens, Greece*. 2004. Pp. 97-106.

15. Tyuremnov I.S. Obzor system nepreryvnogo kontrolya uplotneniya grunta dlya vibratsionnykh katkov. Chast' 3 [Overview of continuous soil compaction monitoring systems for vibration rollers. Part 3]. *Vestnik TOGU*. 2016; 2(41): 115-122. URL: <http://pnu.edu.ru/vestnik/pub/articles/2226/>. (in Russian)

16. Savel'ev S.V., Bury' G.G. Algoritmy opredeleniya parametrov vibratsionnykh katkov, uchityvaya massu uplotnyaemogo grunta v zone aktivnogo dey'stviya vibratsii [Algorithm for determining the parameters of vibration rollers, taking into account the mass of compacted soil in the zone of active vibration action]. *Izbrannyye doklady II mezdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov i molodykh uchennykh "Molodej", nauka, tehnologii*. 2016. 327-332. (in Russian)

17. Belostockiy B.A. K raschetu optimal'nykh parametrov trambuyuchih mashin [To calculate the optimal parameters of ramming machines]. *Leningradskoe pravlenie NTO Stroi'industrii SSSR*, 1959. 3-11. (in Russian)

18. Kostel'ov M. P. "Umnye vibrokatki" dlya dorozhnikov (obzor s ocenкой novinok poslednego vremeni) ["Smart refrigerators" for the road (overview of the evaluation of the innovations of recent time)]. *Katalog-spravochnik Dorognaya tehnika 2006*. 2006. 30-62. (in Russian)

19. Chernysh A.S. Uplotnenie gruntov s odnovremennym vytrambovyvaniem kotlovanov [Compaction of soil with simultaneous tamping of ditches]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2015; 5: 112-119. (in Russian)

20. Savel'ev S.V., Bury' G.G., Adnagulova Z.R. Metodika obosnovaniya parametrov vibratsionnykh katkov dlya uplotneniya gruntovykh nasypey, uchityvayushchaya zonu aktivnogo deystviya vibratsii [Method of substantiation of parameters of vibration rollers for compaction of soil embankments, taking into account the zone of active action of vibration]. *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo. Sbornik materialov III Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2020. 54-60. (in Russian)

21. Kostel'ov M. P. Vliyaniye impul'snogo vozdeystviya na plasticheskie deformatsii svyaznogo grunta pod jestkim shtampom [Effect of pulse action on plastic deformations of cohesive soil under a rigid stamp]. *Dinamika osnovaniy i fundamentov. Trudy 2-y' konferentsii*. 1969; 2: 65-70. (in Russian)

22. Tyuremnov I.S., Filatov I.S., Ignat'ev A.A. Obzor rekomendatsiy proizvoditeley po ispol'zovaniyu vibratsionnykh katkov dlya uplotneniya grunta [Overview of manufacturers' recommendations on the use of vibration rollers for compaction of soil]. *Vestnik TOGU*. 2014; 2(33): 155-162. URL: <http://pnu.edu.ru/vestnik/pub/articles/1961/>. (in Russian)

23. Tyuremnov I.S., Novichikhin A.A., Filatov I.S. Obzor rekomendatsiy proizvoditeley po ispol'zovaniyu vibratsionnykh plit dlya uplotneniya grunta [Overview of manufacturers' recommendations on the use of vibration plates for compaction of soil]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2014; 12: 28-32. (in Russian)

24. Tyuremnov I.S., Razumov S.V., Dotsenko A.I. Metodika rascheta parametrov i rezhimov raboty dvukhmassnykh rabochikh organov trambuyushchikh mashin [Method of calculating parameters and operating modes of two-mass working bodies of ramming machines]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye*. 2005; 2: 37-44. (in Russian)

25. Tyuremnov I.S., Ignat'ev A.A. Uplotnenie gruntov vibratsionnymi katkami [Compaction of soil with vibrating rollers]. *Yaroslavl', YAGTU*, 2012. 140 p. (in Russian)

26. Tyuremnov, I.S., Morev A.S. Sistemy nepreryvnogo kontrolya uplotneniya grunta vibratsionnymi katkami [Systems for continuous monitoring of soil compaction by vibrating rollers]. *Yaroslavl', YAGTU*, 2019. 172 p. (in Russian)

27. Tyuremnov I.S., Novichikhin A.A. Uplotnenie gruntov vibratsionnymi plitami [Soil compaction with vibrating plates]. *Yaroslavl', YAGTU*, 2018. 143 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тюремнов Иван Сергеевич – канд. техн. наук, доц., ORCID заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВО Ярославский государственный технический университет, 0000-0003-2261-4153 (150023, г. Ярославль, Московский пр-т, 88, e-mail: tyuremnovis@yandex.ru).

Федорова Дарья Владимировна – старший преподаватель кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 0000-0001-7885-3159 (150023, г. Ярославль, Московский пр-т, 88, e-mail: darij30@rambler.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tyuremnov Ivan S. (Yaroslavl, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof., Head of Department of Road Construction Machinery, Yaroslavl State Technical University, 0000-0003-2261-4153 (Moskovsky Prospekt, 88, 150023, Yaroslavl, Russia, e-mail: tyuremnovis@yandex.ru).

Darya V. Fedorova Darya V. (Yaroslavl, Russian Federation) – senior lecturer, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Yaroslavl State Technical University, 0000-0001-7885-3159 (Moskovsky Prospekt, 88, 150023, Yaroslavl, Russia, e-mail: darij30@rambler.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Тюремнов Иван Сергеевич – общее руководство работой, написание текста статьи.

Федорова Дарья Владимировна – подготовка исходных данных.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Tyuremnov Ivan S. – general management of work, writing the text of the article.

Fedorova Darya V. – preparation of initial data.