

УДК.629.084

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ С УЧЕТОМ МАССЫ УПЛОТНЯЕМОГО ГРУНТА В ЗОНЕ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ

С.В. Савельев, Г.Г. Бурый, И.К. Потеряев
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В данной статье рассмотрено применение алгоритма подбора рациональных режимных параметров вибрационных катков с учетом максимальных значений виброускорений массы уплотняемого грунта. Определена зависимость для нахождения массы уплотняемого грунта, ограниченной значениями виброускорений, ниже которых деформация грунта не происходит, что ранее не учитывалось при определении массы уплотняемого грунта. Уточнение значений массы уплотняемого грунта позволит подбирать более рациональные режимные параметры вибрационных катков, что позволит повысить их производительность.

Ключевые слова: уплотнение, вибрационный каток, вибрация, грунт, виброускорения.

Введение

Продолжительность эксплуатации автомобильных дорог во многом зависит от качества уплотнения земляного полотна. Некачественное уплотнение может привести к разрушению дорожного полотна, и как следствие, к большим финансовым потерям при строительстве автомобильных дорог также влияет продолжительность эксплуатации дорожных машин: чем она дольше, тем дороже строительство. В наши дни наиболее распространенными дорожными машинами, предназначенными для уплотнения грунтов, являются вибрационные катки. Важно добиться качественного уплотнения земляного полотна при минимальном использовании катка. Ниже описан алгоритм подбора режимных параметров виброкатков, позволяющий добиться качественного уплотнения, с максимальной для катков производительностью. В данном алгоритме были уточнены режимные параметры вибрационных катков на основании исследований виброускорений в грунте, уплотняемом вибрационными катками. Для применения данного алгоритма на практике он был реализован в программном продукте Microsoft Visual Basic, который позволяет быстро провести все расчеты.

Подбор рациональных режимных параметров вибрационного катка

Рассмотрим различные частоты колебаний вибровозбудителя в диапазоне от 30 до 60 Гц, так как этот диапазон частот наиболее эффективен [1]. Программа выбирает значение частоты колебаний вибровозбудителя из данного диапазона при уплотнении грунта от

начальной до требуемой плотности. Значения частоты должны соответствовать условиям эффективного протекания процесса уплотнения [2]. Далее по этим значениям частоты определяются другие режимные параметры вибрационных катков.

1. Вынуждающая сила вибровозбудителя.

Учитывая исследования профессора Хархуты Н.Я., вынуждающую силу вибровозбудителя определим по зависимости (1)

$$P = 39,4 \cdot m_d \cdot r_d \cdot f^2, \quad (1)$$

где m_d – масса дебаланса, кг; r_d – радиус вращения центра тяжести дебаланса, м, f – частота колебаний вибровозбудителя, Гц. [2,3]

2. Определение рабочей скорости вибрационного катка

Учитывая исследования профессора Хархуты Н.Я. и других исследователей рабочую скорость вибрационного катка определим по формуле (2), длину дуги пятна контакта вальца с грунтом по формуле (3), коэффициент превышения по формуле (4)

$$v = \frac{60 \cdot d \cdot n_{np} \cdot f}{n_u}; \quad (2)$$

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsin \left(2 \sqrt{\frac{K_{np} \cdot (P + 9,81 \cdot m_2)}{B \cdot R \cdot E}} \right); \quad (3)$$

$$K_{np} = -0,018 \cdot \left(\frac{P}{m_2} \right) + 5,18, \quad (4)$$

где d – длина дуги пятна контакта вальца с грунтом, м; n_u – потребное число циклов нагрузки при уплотнении (для связного грунта $n_u=20000$; для несвязного $n_u=5000$); $n_{пр}$ – число проходов катка; f – частота колебаний вибровозбудителя, Гц; m_2 – масса вальца с пригрузом от веса катка, кг; B – ширина вальца катка, м; R – радиус вальца, м; E – модуль деформации грунта, Па [2, 3].

По формулам, выведенным профессором Хархутой Н.Я., [2] определим модуль деформации грунта по регрессионным зависимостям для связного грунта (5) и несвязного грунта (6).

$$E = 33,172 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{\max}} \right) - 22,186; \quad (5)$$

$$E = 17,25 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{\max}} \right)^{9,2}. \quad (6)$$

где ρ – плотность сухого грунта, кг/м³; $\rho_{\max}$ – максимальная стандартная плотность грунта, кг/м³ [3].

Подбор рабочей скорости вибрационного катка зависит от напряжения на пятне контакта вальца с грунтом, которое не должно превышать предела прочности грунта. По формулам, выведенным профессором Хархутой Н.Я., [2] напряжение на пятне контакта вальца с грунтом определим по зависимости (7)

$$\sigma = K_{пр} \frac{P + 9,81 \cdot m_2}{B \cdot d}, \quad (7)$$

По формулам, выведенным профессорами Хархутой Н.Я., Вяловым С.С., Трофимовым В.Т., [2,4] определим предел прочности

грунта по регрессионным зависимостям для связного грунта (8) и несвязного грунта (9).

$$\sigma_{пр} = 1,66 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{\max}} \right)^{8,2245}; \quad (8)$$

$$\sigma_{пр} = 0,8756 \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{\max}} \right)^{9,6672}. \quad (9)$$

Коэффициент детерминации $R^2=0,98$ [3].

3 Определение толщины уплотняемого слоя грунта

До сегодняшнего дня толщина уплотняемого слоя ограничивалась зоной напряжений в грунте, и не учитывались значения виброускорений в грунте при определении толщины уплотняемого слоя, однако именно значения виброускорений в грунте – это критерий эффективности процесса уплотнения, согласно исследованиям профессора Д.Д. Баркана. Профессором Барканом Д.Д. были определены значения виброускорений, ниже которых грунт перестает деформироваться. Следовательно, ими можно ограничить толщину уплотняемого слоя [5,6]. Тем самым мы учитываем не только зону напряжений в грунте, а также зону активного действия вибрации. Для выведения зависимости для нахождения толщины уплотняемого слоя на базе ФГБОУ ВПО «СибАДИ» были проведены экспериментальные исследования по определению значений виброускорений в грунте на различной глубине под вальцом вибрационного катка. Вибрационный каток уплотнял грунт с различной частотой. Толщину уплотняемого слоя грунта определим при уплотнении связного грунта по зависимости (10), при уплотнении несвязного грунта по зависимости (11):

$$h = \frac{\rho_k}{\rho} \cdot \log_{K_3} \left(\frac{50,5 \cdot \sigma_k \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) + 13,3 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) - 35,2 \cdot \sigma_k - 9,3}{\left(-0,018 \cdot \left(\frac{P_k}{m_2} \right)^2 + 5 \cdot \frac{P_k}{m_2} + 50,8 \right) \cdot \left(0,86 - 1,3 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) + 1,44 \cdot \sigma_k \right)} \right); \quad (10)$$

$$h = \frac{\rho_k}{\rho} \cdot \log_{K_3} \left(\frac{27,8 \cdot \sigma_k \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) + 8,1 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) - 19,5 \cdot \sigma_k - 5,6}{\left(-0,018 \cdot \left(\frac{P_k}{m_2} \right)^2 + 5 \cdot \frac{P_k}{m_2} + 50,8 \right) \cdot \left(3,3 - 4,1 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) + 2,3 \cdot \sigma_k \right)} \right), \quad (11)$$

где ρ_k – конечная плотность сухого грунта, кг/м^3 ; K_3 – коэффициент, учитывающий изменение значений виброускорений по толщине грунта; σ_k – напряжение на пятне контакта вальца с грунтом на конечной стадии уплотнения, МПа; P_k – вынуждающая сила вибровозбудителя на конечной стадии уплотнения, Н. [2, 3, 5, 6, 7]

Коэффициент K_3 , учитывающий изменение значений виброускорений по толщине грунта, определим по зависимости (12), напряжение на пятне контакта на конечной стадии уплотнения определим по зависимости (13), длину дуги пятна контакта на конечной стадии уплотнения определим по зависимости (14):

$$K_3 = 0,0014 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right)^{-12}; \quad (12)$$

$$\sigma_k = K_{\text{пр2}} \frac{P_k + 9,81 \cdot m_2}{B \cdot d_k}; \quad (13)$$

$$d_k = 2 \cdot R \cdot \arcsin \left(2 \sqrt{\frac{K_{\text{пр2}} \cdot (P_k + 9,81 \cdot m_2)}{B \cdot R \cdot E_k}} \right), \quad (14)$$

где d_k – длина дуги пятна контакта на конечной стадии уплотнения, м; $K_{\text{пр2}}$ – коэффициент превышения на конечной стадии уплотнения; E_k – модуль деформации грунта на конечной стадии уплотнения, Па; P_k – вынуждающая сила вибровозбудителя на конечной стадии уплотнения, Н. [2,3]

Коэффициент превышения на конечной стадии уплотнения $K_{\text{пр2}}$ определим по зависимости (15), вынуждающую силу вибровозбудителя P_k на конечной стадии уплотнения определим по зависимости (16):

$$K_{\text{пр2}} = -0,018 \cdot \left(\frac{P_k}{m_2} \right) + 5,18; \quad (15)$$

$$P_k = 39,4 \cdot m_d \cdot r_d \cdot f_k^2, \quad (16)$$

где f_k – частота колебаний вибровозбудителя на конечной стадии уплотнения, Гц [2,3].

По исследованиям профессора Хархуты Н.Я. [2] определим модуль деформации грунта на конечной стадии уплотнения по регрессионным зависимостям для связного грунта (17) и несвязного грунта (18).

$$E_k = 33,172 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right) - 22,186; \quad (17)$$

$$E_k = 17,25 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right)^{9,2}. \quad (18)$$

Напряжение на пятне контакта на конечной стадии уплотнения грунта не должно превышать предел прочности грунта. По регрессионным зависимостям Хархуты Н.Я., Вялова С.С., Трофимова В.Т. [2,4] определим предел прочности грунта на конечной стадии уплотнения для связного грунта (19) и несвязного грунта (20):

$$\sigma_{\text{пр2}} = 1,66 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right)^{8,2245}; \quad (19)$$

$$\sigma_{\text{пр2}} = 0,8756 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\max}} \right)^{9,6672}. \quad (20)$$

Коэффициент детерминации $R^2=0,98$ [3].

4. Определение массы уплотняемого грунта.

На сегодняшний день зависимости для определения массы уплотняемого грунта ограничиваются с учетом толщины уплотняемого слоя и по бокам углом внутреннего трения грунта [8]. Однако проведенные исследования на базе ФГБОУ ВПО «СибАДИ» по измерению значений виброускорений в грунте в различных направлениях под вальцом вибрационного катка позволили определить значения углов распространения зоны активного действия вибрации. Полученные значения углов распространения зоны активного действия вибрации отличаются от принимаемых ранее. В итоге была выведена уточненная зависимость для определения массы уплотняемого грунта с учетом зоны активного действия вибрации. Ее определим по формуле (21):

$$m_1 = \rho \cdot \left(\frac{1}{3} h \cdot ((B + 2h \cdot \tg \alpha) \cdot (d + 2h \cdot \tg \beta) + \sqrt{d \cdot B \cdot (B + 2h \cdot \tg \alpha) \cdot (d + 2h \cdot \tg \beta) + d \cdot B}) \right), \quad (21)$$

где ρ – плотность грунта, кг/м^3 ; h – толщина уплотняемого слоя грунта, м; α и β – углы распространения зоны активного действия вибрации от пятна контакта, град.; B – ширина вальца, м; d – длина дуги пятна контакта вальца с грунтом, м.

Углы распространения зоны активного действия вибрации составили при уплотнении суглинка $\alpha \approx 5^\circ$, $\beta \approx 14^\circ$, супеси $\alpha \approx 8^\circ$, $\beta \approx 18^\circ$ [3].

5. Определение значений виброускорений массы уплотняемого грунта.

Значения виброускорений массы уплотняемого грунта определим по зависимости (22):

$$a_1 = -M \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t - N \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t; \quad (22)$$

$$M = \frac{\bar{\mu} \left(\omega^4 - \bar{B} \omega^2 + \bar{D} \right)}{\left(\omega^4 - \bar{B} \omega^2 + \bar{D} \right)^2 + \left(\bar{A} \omega^3 - \bar{C} \omega \right)^2};$$

$$N = \frac{-\bar{\mu} \left(\bar{A} \omega^3 - \bar{C} \omega \right)}{\left(\omega^4 - \bar{B} \omega^2 + \bar{D} \right)^2 + \left(\bar{A} \omega^3 - \bar{C} \omega \right)^2};$$

$$\bar{\mu} = \frac{P}{m_1} \frac{c_2}{m_2}; \quad \bar{A} = \frac{b_1}{m_1};$$

$$\bar{B} = \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1}; \quad \bar{C} = \frac{b_1}{m_1} \frac{c_2}{m_2};$$

$$\bar{D} = \frac{c_1}{m_1} \frac{c_2}{m_2}; \quad \omega = 2\pi \cdot f; \quad c_1 = E \cdot \frac{d \cdot B}{h};$$

$$b_1 = \eta \frac{d \cdot B}{2h},$$

где ω – угловая частота вынужденных колебаний, рад/с; t – время, с; c_1 – коэффициент учитывающий упругие и пластичные деформации грунта, Н/м; b_1 – коэффициент вязкого трения грунта, Н·с/м; η – динамическая вязкость грунта (для связного грунта оптимальной влажности $\eta=14 \cdot 10^4$, для несвязного грунта оптимальной влажности $\eta=4 \cdot 10^4$), Па·с; a_1 – виброускорение массы уплотняемого грунта, м/с² [3, 9, 11, 12].

Для определения рациональной частоты колебаний вибровозбудителя и других режимных параметров, необходимо чтобы выполнялись следующие условия (23)

$$\begin{cases} a_1, f_k \rightarrow \max, \\ \sigma < \sigma_{пр}, \\ \sigma_k < \sigma_{пр2}, \\ d < R, \\ d_k < R. \end{cases} \quad (23)$$

Основное условие определения рациональных режимных параметров вибрационных катков – это максимальные значения виброускорений в уплотняемом грунте. Это означает что процесс уплотнения максимально эффективен по исследованиям профессора Д.Д. Баркана. Если выбранное программой значение частоты колебаний вибровозбудителя не удовлетворяет данным условиям, программа подбирает другие значения из диапазона от 30 до 60 Гц до тех пор пока условия (23) не будут выполняться. Суть программы сводится к последовательной подстановке всех значений частоты колебаний вибровозбудителя из диапазона от 30 до 60 Гц в формулы алгоритма, до тех пор пока не будут выполняться условия (23). Если условия (23) выполняются, значит подобранная частота колебаний вибровозбудителя и другие режимные параметры вибрационного катка рациональны. По рациональному значению частоты колебаний вибровозбудителя определяются другие режимные параметры катка: вынуждающая сила вибровозбудителя, рабочая скорость вибрационного катка, толщина уплотняемого слоя грунта, значение массы уплотняемого грунта, значение виброускорений массы уплотняемого грунта. Окно программы, в которой реализован данный алгоритм, представлено на рисунке 1 [3].

Расчет режимных параметров вибрационных катков

Масса вальца с пригрузом, кг	7000
Начальная плотность грунта, кг/м³	1785
Требуемая плотность грунта, кг/м³	1995
Максимальная стандартная плотность грунта, кг/м³	2100
Маховой момент дебаланса, кг·м²	6.6
Ширина вальца, м	2
Радиус вальца, м	0.8
Число проходов катка	8
Тип грунта	связный
Частота колебаний вибровозбудителя, Гц	расчет
для уплотнения грунта начальной плотности	13
для уплотнения грунта требуемой плотности	21
Выходные данные	
Параметры катка	
Толщина уплотняемого слоя грунта, м	0,3
Рабочая скорость катка, км/ч	0,9
Масса уплотняемого грунта, кг	908
Вынуждающая сила вибровозбудителя, Н	43947
Виброускорения массы уплотняемого грунта, м/с²	7,6

Рис. 1. Реализация алгоритма обоснования режимных параметров вибрационных катков в программном продукте Microsoft Visual Basic на примере вибрационного катка ДУ-85

Заключение

Зная режимные параметры вибрационного катка, при которых процесс уплотнения будет проходить максимально эффективно, можно сократить время технологического цикла работы катка при уплотнении земляного полотна, а именно сократить количество проходов по следу. Нужно количество проходов позволит определить устройство непрерывного контроля качества уплотнения грунта [10]. Данный алгоритм применим для организаций, производящих вибрационные катки при назначении рациональных параметров для них, а также применим для вибрационных катков с большим количеством частотных режимов. Если в организации имеются только вибрационные катки с малым количеством частотных режимов, данный алгоритм позволит уточнить для них толщину уплотняемого слоя грунта, что позволит использовать для уплотнения земляного полотна катки меньшей мощности, чем применялись ранее. Описанный алгоритм позволит добиться максимальной производительности

вибрационных катков, что сократит расходы на строительство автомобильных дорог.

Библиографический список

1. Цытович, Н.А. Механика грунтов: учебник для вузов / Н.А. Цытович. – 3-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.
2. Хархута, Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. – М.: Транспорт, 1975. – 284 с.
3. Бурый, Г.Г. Методика обоснования режимов работы дорожных катков с учетом массы уплотняемого грунта в зоне активного действия вибрации / Г.Г. Бурый С.В. Савельев // Строительные и дорожные машины. – 2015. – №3. – С. 48 – 51.
4. Уплотнение грунтов обратных засыпок в стесненных условиях строительства/ Госстрой СССР. Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству. – М.: Стройиздат, 1981. – 220 с.
5. Баркан, Д.Д. Устройство оснований сооружений с применением вибрирования / Д.Д. Баркан. – М.: Издательство министерства строительства предприятий машиностроения, 1949. – 121 с.
6. Ласточкин, В.С. Установление степени уплотнения грунтов при замачивании и динамическом воздействии / В.С. Ласточкин. // Динамика оснований и фундаментов (труды второй конференции). Том I «Свойства грунтов при вибрациях». – М., 1969. – С. 105 - 110.
7. Балашов, В.Н. Определение эффективных режимов виброплит при уплотнении грунтов и цементогрунтовых смесей / В.Н. Балашов, П.П. Петрович // Труды СоюзДорНИИ. – М.: 1980. – С. 19 - 27.
8. Белоусов, Л.И. Динамические параметры колебательной системы катков на пневматических шинах / Л.И. Белоусов, М.И. Капустин, Н.Я. Хархута // Тр./ СоюзДорНИИ. 1975. – Вып. 44. – С. 71-75.
9. Бурый, Г.Г. Математическое описание колебательной системы «вибрационный рабочий орган - грунт / Г.И. Шабанова, С.В. Савельев, Г.Г. Бурый // Вестник СибАДИ. – 2013. – №3 (31). – С. 102-107.
10. Патент 2500855 Российская Федерация, МПК E01C23/07. Устройство непрерывного контроля качества уплотнения грунта / Михеев В. В., Савельев С.В., Бурый Г.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (RU); №2012121230/03; заявл. 23.05.2012; опубл. 10.12.2013. Бюл. № 34. 2 с.
11. Савинов, О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О.А. Савинов. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. – 200 с.

**APPLICATION OF ALGORITHM OF DEFINITION
PARAMETERS OF VIBRATION SKATING RINKS
TAKING INTO ACCOUNT WEIGHT THE
CONDENSED SOIL IN THE ZONE OF ACTIVE
ACTION OF VIBRATION**

S.V. Savelyev, G.G. Bury, I.K. Poteryaev

Abstract. In this article application of algorithm of selection of rational regime parameters of vibration skating rinks taking into account the maximum values of vibration accelerations of mass of the condensed soil is considered. Dependence for finding of the mass of the condensed soil limited to values of vibration accelerations below which deformation of soil doesn't happen is defined that earlier wasn't considered at determination of mass of the condensed soil. Specification of values of mass of the condensed soil will allow to select more rational regime parameters of vibration skating rinks that will allow to increase their productivity.

Keywords: consolidation, vibration skating rink, vibration, soil, vibration accelerations.

References

1. Cytovich N.A. *Mekhanika gruntov: uchebnik dlja vuzov* [Mechanika of soil: the textbook for higher education institutions]. Moscow, Vysshaja shkola, 1979. 272 p.
2. Harhuta N.Ja., Vasil'ev Ju.M. *Prochnost', ustojchivost' i uplotnenie gruntov zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog* [Prochnost, stability and uplotkneniye of soil of a road bed of highways]. Moscow, Transport, 1975. 284 p.
3. Buryj G.G., Savel'ev S.V. Metodika obosnovanija rezhimov raboty dorozhnyh katkov s uchetom massy uplotnjaemogo grunta v zone aktivnogo dejstviya vibracii [Metodika of justification of operating modes of road skating rinks taking into account the mass of the condensed soil in a zone of active action of vibration]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2015, no 3. pp. 48 – 51.
4. *Uplotnenie gruntov obratnyh zasypok v stesnennyh usloviyah stroitel'stva* Gosstroj SSSR. Central'nyj nauchno-issledovatel'skij i proektno-eksperimental'nyj institut organizacii, mehanizacii i tehniceskoy pomoshhi stroitel'stvu [Consolidation of soil of the return zasypok in the constrained conditions the construction / State Committee for Construction of the USSR]. Moscow, Strojizdat, 1981. 220 p.
5. Barkan D.D. *Ustrojstvo osnovanij sooruzhenij s primeneniem vibrirovanija* [Ustrojstvo of the bases of constructions with vibrating application]. Moscow, Izdatel'stvo ministerstva stroitel'stva predpriyatij mashinostroenija, 1949. 121 p.
6. Lastochkin V.S. *Ustanovlenie stepeni uplotnenija gruntov pri zamachivanii i dinamicheskom vozdejstvii* [Establishment of extent of consolidation of soil when soaking and dynamic influence]. *Dinamika osnovanij i fundamentov (trudy vtoroj konferencii)*. Tom I «Svojstva gruntov pri vibracijah». M., 1969. pp. 105 - 110.

7. Balashov V.N., Petrovich P.P. *Opreделение jeffektivnyh rezhimov vibroplit pri uplotnenii gruntov i cementogruntovyh smesej* [Definition of the effective modes of vibrating plates at consolidation of soil and the tsementogruntovykh of mixes]. *Trudy SojuzDorNII*, Moscow, 1980. pp. 19 - 27.

8. Belousov L.I., Kapustin M.I., Harhuta N.Ja. *Dinamicheskie parametry kolebatel'noj sistemy katkov na pnevmaticheskijh шинah* [Dynamic parameters of oscillatory system of skating rinks on pneumatic tires]. *SojuzDorNII*, 1975. no. 44. no. 71-75.

9. Buryj G.G., Shabanova G.I., Savel'ev S.V., Matematicheskoe opisanie kolebatel'noj sistemy «vibracionnyj rabochij organ - grunt [The mathematical description of oscillatory system "vibration working body - soil]. *Vestnik SibADI*, 2013, no 3 (31). pp. 102-107.

10. Miheev V. V., Savel'ev S.V., Buryj G.G. *Ustrojstvo nepreryvnogo kontrolja kachestva uplotnenija grunta* [Device of continuous quality control of consolidation Soil]. Patent R.F. no 2012121230/03.

11. Savinov O.A. *Sovremennye konstrukcii fundamentov pod mashiny i ih raschet* [Modern designs of the bases under cars and their calculation]. L.: Strojizdat. Leningr. otd-nie, 1979. 200 p.

Савельев Сергей Валерьевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru).

Бурый Григорий Геннадьевич (Россия, Омск) – преподаватель кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: coshperovsky@mail.ru).

Потеряев Илья Константинович (Россия, Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: poteryaev_ik@mail.ru).

Sergey V. Saveliev (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, Ass. Professor, Department of Operation and service of transport - technological machines and systems in construction, of The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru).

Grigoriy G. Buryi (Russian Federation, Omsk) – department of operation and repair of automobiles, of The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: coshperovsky@mail.ru).

Ilya K. Poteryaev (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, Ass. Professor, Department of Operation and service of transport - technological machines and systems in construction, of The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: poteryaev_ik@mail.ru).