

УДК 629.084

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРУЕМЫХ ГРУНТОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ УПЛОТНЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КАТКОВ

В.В. Михеев¹, С.В. Савельев²

¹Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Россия, г. Омск;

²ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье обсуждается вопрос моделирования упругих свойств деформируемого грунта, которые существенно изменяются в процессе его уплотнения. Эта задача имеет практический интерес для определения оптимальных параметров технологического процесса уплотнения грунтовых оснований автомобильных дорог. В работе предложена модель взаимодействия деформируемой грунтовой среды с недеформируемым цилиндрическим штампом, который в первом приближении соответствует форме рабочих органов (вальцов) наиболее распространенных уплотняющих машин – катков. Определена жесткость деформируемого объема грунта, вычислена величина силы касательного сопротивления деформированию при горизонтальном смещении вальца.

Ключевые слова: уплотнение грунтов, жесткий валец, моделирование, механические свойства, жесткость, упруговязкопластичная среда.

Введение

Наиболее эффективным способом обеспечения грунтовым основаниям и насыпям прочности и устойчивости в настоящее время является уплотнение грунтов внешней периодической силой – виброуплотнение. Такой характер воздействия позволяет наиболее интенсивно передавать грунту энергию, способствуя возникновению и накоплению в нем пластических деформаций. Условие пластического деформирования грунта дается выражением [1, 2]

$$\sigma_{pl} \leq \sigma(t) \leq \sigma_{destr}, \quad (1)$$

где σ_{pl} – предел текучести грунта, $\sigma(t)$ – текущее значение контактного напряжения, σ_{destr} – предел прочности грунта.

В работе предполагается рассмотреть модель взаимодействия недеформируемого цилиндрического штампа – перекачивающегося вальца грунтового катка с деформируемой грунтовой средой, обладающей как упругими, так и вязкими свойствами. Процесс должен протекать в соответствии с условием (1). Основная сложность при точном решении такой задачи состоит в необходимости интегрировать дифференциальное уравнение для области грунтового пространства (слоя) с его движущейся (вследствие накопления остаточных неупругих деформаций) границей раздела системы «штамп – грунт».

Предлагаемый подход опирается на физически оправданное приближение системы с сосредоточенными параметрами [3]. Данное приближение справедливо в том случае, если грунтовая среда в процессе деформирования может считаться движущейся как «единое целое», т.е. является сплошной средой. Необходимо правильно описать «эффективный» объем грунта, параметры которого будут определять величины массы, упругости и вязкости, той области деформируемой среды, которая непосредственно взаимодействует со штампом. Следует учитывать то, что внешнее воздействие на грунт прикладывается не только по нормали к его поверхности, но и передается в касательном направлении при поступательном передвижении рабочего органа реальной машины [4], так что воздействию подвергается не только непосредственно находящийся под пятном контакта объем грунта.

Это особенно явно проявляется в случае, когда поверхность взаимодействия является более сложной, чем плоскость, например – цилиндрическая.

Моделирование жесткости деформируемого грунта и силы его сопротивления при поступательном движении жесткого цилиндрического вальца

Штамп (валец) будем считать недеформируемым цилиндром известной длины l , радиуса R и массы M ,

обеспечивающей «первоначальное» статическое деформирование грунта. Упруговязкопластичную грунтовую среду представим в виде системы, обладающей жесткостью c , вязкостью b и способностью к пластической деформации, граница которой определяется пределом текучести грунта σ_{pl} .

Поверхность пятна контакта жесткого штампа с деформируемым грунтом представляет собой участок цилиндра радиуса R . Поэтому широко известный подход для плоского штампа, является малоприменимым.

Рассмотрим ситуацию, предшествующую началу работы грунтового катка, когда рабочий орган занимает положение, соответствующее предварительно деформированному грунту под ним. Обозначим высоту недеформированного слоя грунта h_0 .

Основной вклад в сопротивление грунта деформированию вносят его слой в секторе, ограниченном углом раствора, образованном крайними точками соприкосновения грунта и цилиндрического штампа. При этом будем считать, что грунт, выступающий за боковые стороны вертикальной проекции штампа, деформированию не подвергается.

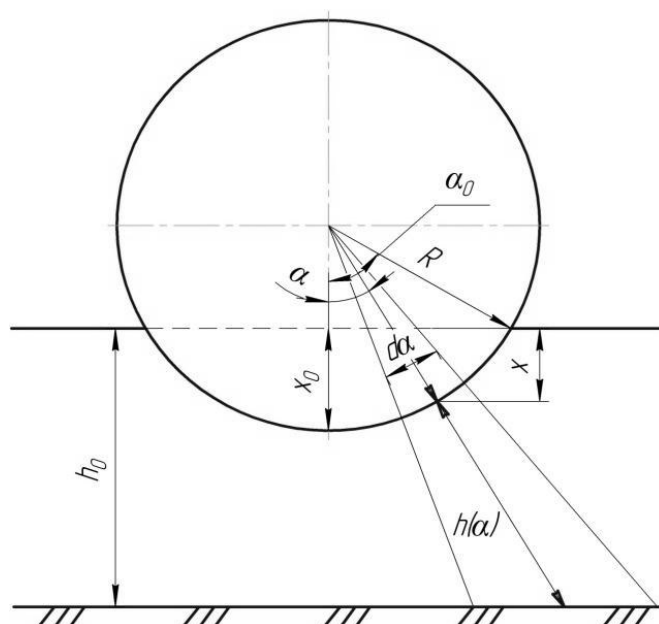


Рис.1. Модельное представление цилиндрического штампа, занявшего первоначальное положение, отвечающее значению угла α_0

Угол раствора при максимальном погружении штампа в грунт $2\alpha_0$, в первую очередь, определяется его массой. Положение поверхности недеформированного грунта предполагается симметричным относительно рабочего органа. Тогда жесткость dc элемента грунта, опирающегося на элементарный угол $d\alpha$, определяется как

$$dc = 2El \frac{d\alpha}{\ln \left(1 + \frac{2h(\alpha)}{R} \right)},$$

где высота элементарного сегмента, зависящая от угла α , имеет следующий вид

$$h(\alpha) = \frac{R(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + h_0}{\cos \alpha}.$$

Итоговое выражение для жесткости, получающееся суммированием по всем элементам грунта:

$$c(\alpha_0) = \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} dc = \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} 2El \frac{d\alpha}{\ln \left(1 + \frac{R(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + h_0}{R \cos \alpha} \right)} = 2El \Phi(\alpha_0). \quad (2)$$

Здесь функция $\Phi(\alpha_0)$ не может быть вычислена аналитически и получается в результате численного интегрирования. Ее график представлен на рис. 2 а).

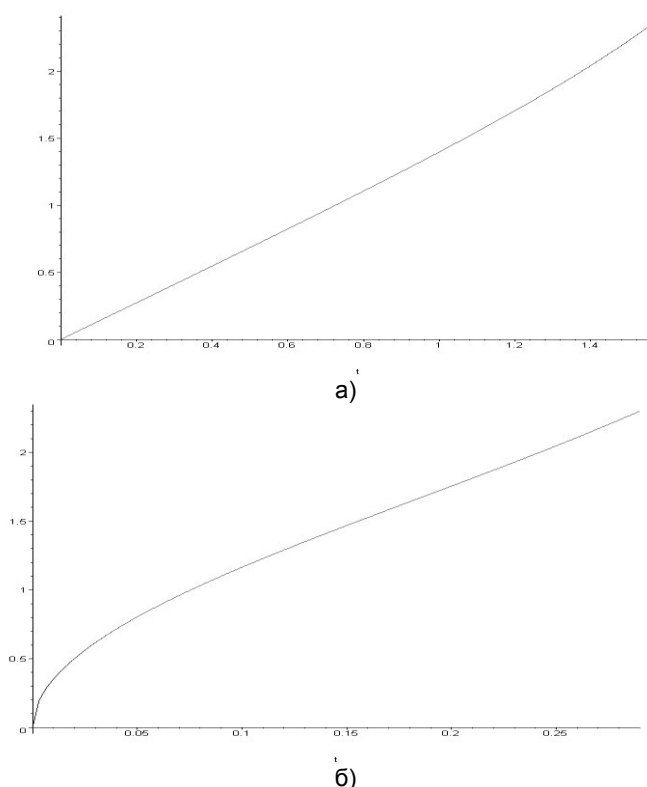


Рис. 2. График функции: для штампа радиуса и толщины слоя грунта (а)
для штампа радиуса и слоя грунта толщины (б)

Контактное напряжение, создаваемое при предварительном нагружении грунта легко определить как

$$\sigma(\alpha_0) = \frac{F}{S(\alpha_0)} = \frac{Mg}{2\pi\alpha_0 Rl}.$$

Для определения угла α_0 , начального положения штампа и начального контактного напряжения необходимо решить уравнение, связывающее силу внешнего воздействия и деформацию грунта. Учитывая, что при вертикальном смещении штампа поверхности элементарных грунтовых призм испытывают

неодинаковое смещение, зависящее от их положения, определяемого углом α , удобно от угла α_0 перейти к связанной с ней переменной x_0 – заглублению штампа в деформируемый грунт $x_0 = R(1 - \cos \alpha_0)$, можно перейти к новой переменной интегрирования $x = R(\cos \alpha - \cos \alpha_0)$. Эта переменная более удобна при рассмотрении движения штампа в процессе деформирования грунта. Жесткость грунта, выраженная через x_0 , есть

$$\begin{aligned} c(x_0) &= 2 \int_0^{x_0} 2El \frac{dx}{R \sqrt{1 - (1 - x_0/R + x/R)^2} \ln \left\{ 1 + 2 \frac{R((1 - x_0/R) - ((1 - x_0/R) - x/R)) + h_0}{R(1 - x_0/R + x/R)} \right\}} = \\ &= 4El \int_0^{x_0} \frac{dx}{R \sqrt{1 - (1 - x_0/R + x/R)^2} \ln \left\{ 1 + 2 \frac{h_0 - x}{R - x_0 + x} \right\}} = 2El \tilde{\Phi}(x_0) \end{aligned} \quad (3)$$

График функции $\tilde{\Phi}(x_0)$ показан на рисунке 2, (б).

Первоначальная длина пятна контакта, соответствующая смещению x_0 , определится как $y_0 = 2R \sin \alpha_0$. Следует отметить, что при заглублении штампа в грунт во взаимодействие с ним вовлекаются новые участки деформируемой поверхности, в результате чего зависимость силы от смещения среды становится нелинейной, особенно на начальных этапах деформирования.

Для рассмотренного примера при радиусе штампа $R = 0.3 \text{ м}$, толщине слоя грунта $h_0 = 0.5 \text{ м}$, ширине штампа $l = 1 \text{ м}$ и модуля деформации грунта $E = 20 - 30 \text{ МПа}$,

$$Mg = \int_0^{x_0} dc(x)x = 4El \int_0^{x_0} \frac{x dx}{R \sqrt{1 - (1 - \frac{x_0}{R} + \frac{x}{R})^2} \ln \left(1 + 2 \frac{h_0 - x}{R - x_0 + x} \right)} = 2El \Phi_F(x_0). \quad (4)$$

Интегрирование, в силу сложности подинтегральной функции, является возможным провести только численно.

жесткость деформируемого объема грунта, составляет, в зависимости от заглубления от 0 до 50-70 МН/м. Наибольший интерес здесь представляют небольшие деформации, для которых выполняется закон Гука, и внешняя сила имеет значения, близкие к реальным значениям вынуждающей силы у рабочих органов грунтовых катков.

Вычисление величины начального деформирования грунта от нагружения со стороны штампа проведем следующим образом: предположим скорость деформирования настолько «медленной», что вязким сопротивлением грунтовой среды можно пренебречь [3], тогда смещение x_0 под воздействием веса штампа находится из интеграла

Результат вычислений для функции $\Phi_F(x_0)$ при указанных параметрах штампа и грунта приведен на рисунке 3.

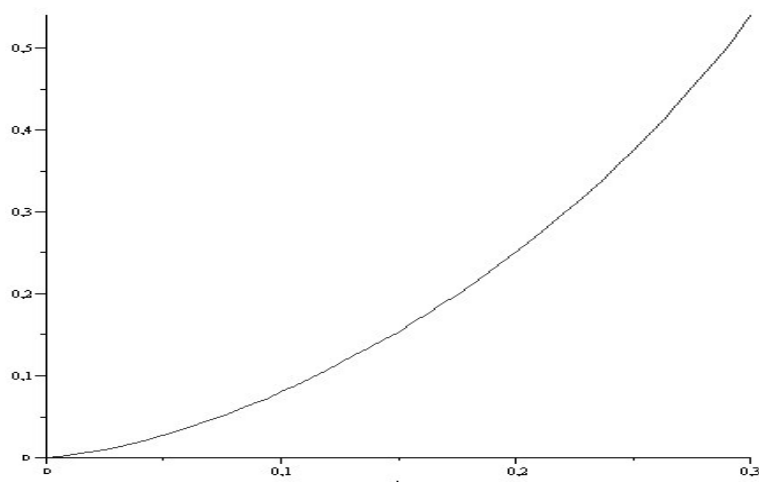


Рис. 3. График функции $\Phi_F(x_0)$ для штампа радиуса $R = 0.3 \text{ м}$ и слоя грунта толщины $h_0 = 0.5 \text{ м}$

Для массы штампа 3000-5000 кг и указанных выше условий можно провести оценку угла α_0 и смещения x_0

$$\Phi_F(x_0) \approx 0.001.$$

Порядок величины x_0 , получающейся при такой оценке есть 0.005-0.01, что дает для угла α_0 оценку $\alpha_0 \in (\pi/18, \pi/12)$, для ширины пятна контакта $y_0 = 0.1 - 0.15 \text{ м}$ и для

контактного давления $\sigma(\alpha_0) = 60 - 90 \text{ кПа}$. Очевидно, что при статическом нагружении это не соответствует условию неупругого деформирования грунта (1), однако оказывается вполне достаточно для соответствия этому же условию при динамическом деформировании периодической внешней силой.

Прежде чем рассматривать динамическое деформирование грунта цилиндрическим штампом, обсудим вопрос достижения

требуемого коэффициента уплотнения, который качественно характеризует процесс деформирования. Известно, что под коэффициентом уплотнения понимается отношение плотности уплотненного грунта к номинальной плотности, получаемой стандартным методом [1, 4]:

$$k_y = \frac{\rho}{\rho_{ном}} = \frac{V_{ном}}{V},$$

где ρ , V – текущие значения плотности и объема уплотняемого грунта, получающиеся учетом остаточных деформаций, $\rho_{ном}$, $V_{ном}$ – номинальные значения. В рассматриваемом случае для жесткого цилиндрического штампа после снятия нагрузки грунт достаточно быстро релаксирует к новому состоянию равновесия, отвечающему его уплотненному состоянию. Этому состоянию соответствует остаточная деформация (заглубление) x_0^{pl} и отвечающий ему угол α_0^{pl} , которые как позволяют вычислить текущий коэффициент уплотнения и плотность, так и выступают в виде начального состояния для последующих циклов нагружения.

$$k_y = \frac{(R \cos \alpha_0 + h_0)^2 \tan \alpha_0 - \alpha_0 R^2}{(2 R \sin \alpha_0 + h_0 \tan \alpha_0) h_0} \quad (5)$$

Отметим важность выражений (2), (3) для жесткости уплотняемого объема грунта при проведении численного решения системы уравнений динамики, описывающих взаимодействие штампа и деформируемого грунта.

В реальных условиях грунт деформируется поступательно движущимися рабочими органами грунтовых катков – цилиндрическими вальцами. Картина взаимодействия такого рабочего органа с деформируемым грунтом существенно изменяется. Появляется асимметрия, связанная с тем, что уплотнив до необходимого значения плотности грунта, каток движется к следующим, еще недеформированным участкам грунта и область контакта в этом случае отличается от рассмотренной выше.

При этом сила взаимодействия грунта с цилиндрическим рабочим органом не направлена вертикально вверх. Из-за наличия асимметрии сила имеет составляющую, направленную против движения рабочего органа. Это выполняется как при упругих деформациях грунта, так и при пластических. На ее преодоление затрачивается работа, которая представляет

собой потери на горизонтальное перемещение рабочего органа, в нашем случае того самого цилиндрического штампа. Эта сила зависит от вида заглубления штампа в грунт и в случае симметричного заглубления отсутствует. Симметричному заглублению соответствует случай при отсутствии поступательного движения, т.е. имеет место только нормальное по отношению к грунтовой поверхности движения штампа.

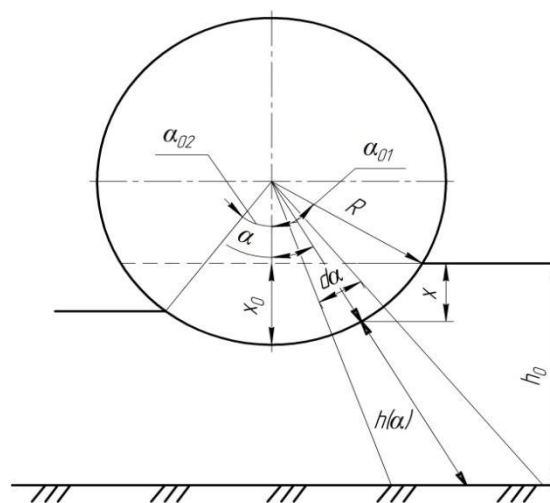


Рис. 4. Модельное представление цилиндрического штампа при движении с участка более уплотненного грунта на участок менее уплотненного

Для обеспечения энергоэффективности процесса уплотнения грунтовых сред необходимо подбирать режим деформирования, определяемый минимальным количеством циклов приложения внешней силы и рациональной поступательной скоростью штампа [3]. В этом случае доля работы затраченной непосредственно на неупругое деформирование грунта должна быть максимальной, а доля потерь, в том числе и на преодоления силы сопротивления передвижению штампа, минимальной.

Рассмотрим разложение силы сопротивления грунта деформированию по взаимно перпендикулярным осям, одна из которых направлена вертикально вверх, вторая – против направления движения. Для определения величин этих сил в ситуации, изображенной на рисунке 4, введем соответствующие показатели жесткости

$$c_{\tau}(\alpha_{01}, \alpha_{02}), c_{\perp}(\alpha_{01}, \alpha_{02})$$

$$c_{\parallel}(\alpha_{01}, \alpha_{02}) = \int_{-\alpha_{02}}^{\alpha_{01}} dc(\alpha) \sin(\alpha) = \int_{-\alpha_{02}}^{\alpha_{01}} 2El \frac{\sin(\alpha) d\alpha}{\ln \left(1 + 2 \frac{R(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + h_0}{R \cos \alpha} \right)}$$

$$c_{\perp}(\alpha_{01}, \alpha_{02}) = \int_{-\alpha_{02}}^{\alpha_{01}} dc(\alpha) \cos(\alpha) = \int_{-\alpha_{02}}^{\alpha_{01}} 2El \frac{\cos(\alpha) d\alpha}{\ln \left(1 + 2 \frac{R(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + h_0}{R \cos \alpha} \right)}$$

Симметричному случаю соответствуют значения жесткостей $c_{\tau}(\alpha_{01}, \alpha_{02}) \Big|_{\alpha_{01}=\alpha_{02}} = 0$, а

$$c_{\perp}(\alpha_{01}, \alpha_{02}) \Big|_{\alpha_{01}=\alpha_{02}} = 2El\Phi(\alpha_{01}).$$

Рассматривая ситуацию поступательного перехода штампа к недеформируемым областям грунтовой среды, можно сделать вывод о значениях углов следующим образом, при этом угол зависит от величины накопленной пластической деформации в

уплотненной области грунта. Это позволяет получить выражение для силы, действующей на рабочий орган со стороны грунта против направления движения и тем самым оказывающей дополнительное сопротивление поступательному движению.

Выразим эту составляющую силы через определенную выше переменную x_0

$$F_{\tau}(x_0) = 2El \int_0^{x_0} \frac{x \tan \alpha(x) dx}{R \sqrt{1 - (1 - x_0/R + x/R)^2} \ln \left(1 + 2 \frac{h_0 - x}{R - x_0 + x} \right)} =$$

$$= 2El \int_0^{x_0} \frac{x \sqrt{\frac{1}{(1 - x_0/R + x/R)^2} - 1} dx}{R \sqrt{1 - (1 - x_0/R + x/R)^2} \ln \left(1 + 2 \frac{h_0 - x}{R - x_0 + x} \right)}$$

и через переменную α

$$F_{\tau}(\alpha_0) = \int_0^{\alpha_0} x(\alpha) dc(\alpha) \tan(\alpha) = 2ElR \int_0^{\alpha_0} \frac{(\cos \alpha - \cos \alpha_0) \tan(\alpha) d\alpha}{\ln \left(1 + 2 \frac{R(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + h_0}{R \cos \alpha} \right)} = 2ElR\Phi_{\tau}(\alpha_0). \quad (6)$$

Результат вычислений для функции $\Phi_{\tau}(\alpha_0)$ при указанных параметрах рабочего органа и грунта приведен на рисунке 5.

Проведем оценку величины силы сопротивления горизонтальному смещению грунта, аналогичную сделанной выше для величины первоначального заглубления штампа в грунт. Воспользуемся результатом, полученным для угла α_0 , предположив его

равным $\pi/15$. В этом случае величина силы сопротивления может быть оценена по значению функции $\Phi_{\tau}(\alpha_0)$ при этом значении аргумента. Указанная оценка при использованных для расчетов параметров грунта и рабочего органа дает $F_{\tau}(\pi/15)$ в диапазоне от 2 до 3 кН. Естественно, что с накоплением деформаций в грунте эта сила будет возрастать, оказывая все большее влияние на поступательное перемещение штампа, увеличивая затраты энергии на процесс уплотнения. Простым примером, хорошо иллюстрирующим это, может служить описание гипотетического процесса уплотнения грунтовой среды до номинальной

плотности за один поступательный проход штампа. Используем формулу (5) для определения необходимого угла α_0 при заданных величинах толщины слоя грунта и радиуса штампа. В случае суглинистого грунта начальную плотность принято считать 1870 кг/м³ при номинальной плотности 2200 кг/м³. Угол α_0 определяется из условия:

$$0,85 = \frac{(R \cos \alpha_0 + h_0)^2 \tan \alpha_0 - \alpha_0 R^2}{(2R \sin \alpha_0 + h_0 \tan \alpha_0) h_0}.$$

Это уравнение является трансцендентным и может быть решено только численно. Решение дает значение угла $\alpha_0 \approx 0.5101$.

Этому углу должна соответствовать диапазон силы сопротивления горизонтальному смещению $F_{\tau}(0.5101) \in (35, 55) \text{ кН}$,

который, при существующих мощностях двигателей грунтовых катков, составляющих около 50-120 кВт, является неприемлемым. Такая сила сопротивления требует для своего преодоления очень высоких затрат мощности и соответственно энергии, не гарантируя требуемой степени уплотнения грунта.

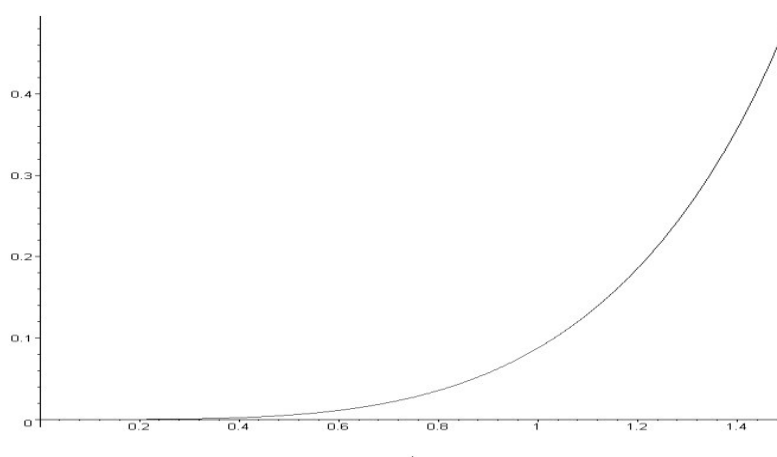


Рис. 5. График функции $\Phi_{\tau}(\alpha_0)$ для штампа радиуса $R = 0.3$ м и слоя грунта толщины $h_0 = 0.5$ м

Поэтому на практике грунтовый каток выполняет несколько проходов по одному следу, исходя из требований одновременного выполнения условия (1) для заданного угла α_0 , и соответствующих значений величины накапливаемых уплотняемым грунтом неупругих деформаций [1, 4].

Заключение

Анализ процесса деформирования грунтовых сред представляет собой важнейшую задачу, поскольку в результате этого процесса земляные сооружения, грунтовые основания и инженерные насыпи приобретают требуемые показатели прочности и устойчивости. Энергоэффективное и качественное уплотнение грунтов решает задачи снижения себестоимости и повышения качества строительства.

Как точное, так и приближенное описание процесса деформирования грунта при различных видах динамического нагружения представляется затруднительным без моделирования характеристик грунта. В рамках настоящей работы был предложен способ построения жесткости деформируемого объема грунта для описания процесса его уплотнения на различных этапах в рамках модели с сосредоточенными параметрами. Были предложены модельные описания свойств грунта при взаимодействии с абсолютно жестким цилиндрическим штампом, моделирующим рабочего органа уплотняющей машины. Следует отметить, что модельное исследование, проделанное в настоящей работе, является начальным этапом более полного описания реального

взаимодействия рабочего органа уплотняющей техники с деформируемыми грунтовыми средами в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научных исследований по теме «Развитие теории взаимодействия рабочих органов уплотнителей с деформируемыми средами».

Библиографический список

1. Хархута, Н.Я. Уплотнение грунтов дорожных насыпей / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев, Р.К. Охраменко. – М.: Автотрансиздат, 1958. – 144 с.
2. Герсеванов, Н.М. Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. – М.: Госстройиздат, 1948. – 551 с.
3. Овчинников, П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников. – Киев: Наукова Думка, 1983. – 272 с.
4. Калужский, Я.А. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд : учеб. пособие / Я.А. Калужский, О.Т. Батраков. – М.: Транспорт, 1970. – 160 с.
5. Баркан, Д.Д. Устройство оснований сооружений с применением вибрирования / Д.Д. Баркан. – М.: Изд-во Минстроя предприятий машиностроения, 1949. – 123 с.
6. Михеев, В.В. Исследования напряженно-деформируемого состояния упруго-вязкой среды при вибрационном нагружении / В.В. Михеев, С.В. Савельев // Вестник СибАДИ, 2012. – № 3(25). – С. 83-86.
7. Mooney M.A., Robert V. Rinehart, Norman W. Facas, Odon M. Musimbi Intelligent Soil Compaction Systems // NCHRP Report 676. – Washington, D. C., 2010. – 166 p.
8. Флорин, Н.А. Основы механики грунтов: в 2 т. / Н.А. Флорин. – Л.М.: Госстройиздат, 1959-1961. – Т. 1-2. – 408 с.

MODELING OF PROPERTIES OF DEFORMABLE SOIL MEDIA DURING COMPACTION BY CYLINDRICAL ROLLER DRUMS

V.V. Mikheyev, S.V. Saveliev

Abstract. The article deals with the task of theoretical modeling for elastic properties of soils under compacting action. That problem is of sufficient practical value for selection of optimal working parameters for soil compaction process in building and road construction. The model of interaction between rigid working tool of cylindrical shape and deformable soil is considered in the article. This shape corresponds to the metal drum of road roller and was used to calculate the stiffness of the soil volume which interacts with it. The tangent resistant force which occurs in case of roller's motion was also calculated.

Keywords: soil compaction, rigid drum, modeling of mechanical properties, soil stiffness, elastic-viscous-plastic media.

References

1. Harhuta N. Ja., Vasil'ev Ju. M., Ohramenko. R. K. *Uplotnenie gruntov dorozh-nyh nasypej* [Soil compaction of road fills]. Moscow, Avtotransizdat, 1958. 144 p.
 2. Gersevanov N.M., Pol'shin D.E. *Teoreticheskie osnovy mehaniki gruntov i ih prakticheskoe primeneniye* [Theoretical foundations of soil compaction and their applications]. Moscow, Gosstroj-izdat, 1948. 551 p.
 3. Ovchinnikov P.F. *Vibroreologiya* [Vibrorheology]. Kiev: Naukova Dumka, 1983. 272 p.
 4. Kaluzhskij Ja. A., Batrakov O. T. *Uplotnenie zemljanogo polotna i dorozhnyh odezhd: ucheb. posobie* [Compaction of earth bed and road surfacing]. Moscow, Transport, 1970. 160 p.
 5. Barkan D. D. *Ustrojstvo osnovanij so- oruzhenij s primeneniem vibriraniya* [Basement construction with use of vibration]. Moscow, Izd-vo Minstroja predpriyatij mashinostroenija, 1949. 123 p.
 6. Miheev V. V., Savel'ev S. V. *Issledovaniya naprjazhenno-deformiruемого sostojaniya uprugovjazkoj sredy pri vibracionnom nagruzhenii* [Investigation of stress and strain behavior of visco-elastic media under vibratory loading]. *Vestnik SibADI*, 2012, no 3(25). pp. 83-86.
 7. Mooney M. A., Robert V. Rinehart, Norman W. Facas, Odon M. Musimbi *Intelligent Soil Compaction Systems* // NCHRP Report 676. Washington, D. C., 2010. 166 p.
 8. Florin N. A. *Osnovy mehaniki gruntov* [Foundations of soil mechanics]. L.-M.: Gosstrojizdat, 1959-1961. T. 1-2. 408 p.
- Михеев Виталий Викторович (Омск, Россия) – кандидат фтзико-математических наук, доцент кафедры «Комплексная защита информации» ФГБОУ ВПО «ОмГТУ» (644055, г. Омск, пр. Мира, 11 к.8, e-mail: vvm125@mail.ru).
- Савельев Сергей Валерьевич (Омск, Россия) – 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).
- Mikheyev Vitaly Viktorovich. (Omsk, Russian Federation) – candidate physical and mathematical sciences, ass. professor, department of complex information protection, Omsk State Technical University (644055, Prospect Mira, 11/8, Omsk, Russian Federation, e-mail: vvm125@mail.ru).
- Savel'ev Serguey Valer'evich (Omsk, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, department of operation and maintenance of transportation and technological machines and complexes, The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, Prospect Mira, 5, Omsk, Russian Federation, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru).

УДК 629.3

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В АВТОТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Ю.П. Сыстеров, В.В. Евстифеев, А.В. Евстифеев
ФГБОУ ВО СибАДИ, Россия, г. Омск.

Аннотация. В современном транспортном машиностроении происходит непрерывное совершенствование технологий изготовления деталей и узлов машин с использованием металлических и неметаллических композиционных материалов, изменяются принципы сборки кузовов и элементов двигателей, внедряются новые технологии производства колес и шин, все большее количество машин оснащается электрическими и гибридными приводами. Внедрение перспективных материалов и технологий отражается, естественно, на качестве, тактико-технических характеристиках и надежности.