

*А.Н. Саурин, к.т.н., ген. директор  
А.И. Корпач, инженер  
ООО «ГеоТехПроектСтрой», Россия, г. Липецк*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ УПЛОТНЕННОЙ ЗОНЫ, СФОРМИРОВАННОЙ ВЫТЕСНЕНИЕМ ГРУНТА ПРИ РАСКАТКЕ СКВАЖИНЫ**

*В статье приводятся некоторые особенности расчета уплотненной зоны, формируемой вытеснением грунта в окружающий массив при раскатке конических и коническо-цилиндрических скважин с учетом развития процессов разуплотнения грунта.*

**Ключевые слова:** *грунтовый массив, уплотненная зона, раскатчик скважин, раскатанная скважина, разуплотнение грунта.*

*А.Н. Саурін, к.т.н., ген. директор  
А.І. Корпач, інженер  
ЗАТ «ГеоТехПроектБуд», Росія, м. Липецьк*

## **ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ УЩІЛЬНЕНОЇ ЗОНИ, СФОРМОВАНОЮ ВИТІСНЕННЯМ ҐРУНТУ ПРИ РОЗКОЧУВАННІ СВЕРДЛОВИНИ**

*У статті наведено деякі особливості розрахунку ущільненої зони, що формується витісненням ґрунту в навколишній масив при розкочуванні конічних і конічно-циліндричних свердловин з урахуванням розвитку процесів розущільнення ґрунту.*

**Ключові слова:** *грунтовий масив, ущільнена зона, розкочувальник свердловин, розкочена свердловина, розущільнення ґрунту.*

*A.N. Saurin, Dr-Ing., general manager  
A.I. Korpach, engineer  
«GeoTehProektStroy», Russia, Lipetsk*

## **DEFINITION OF BOUNDARY LINE OF THE COMPACTED AREA GENERATED BY EXTRUDING OF THE GROUND AT ROLLING OF THE HOLE**

*In issue some features of calculation of the compacted area formed by extruding of a ground in surrounding massif at rolling of cone-shaped and cylindrical holes taking into account development of processes of ground deconsolidation are resulted.*

**Keywords:** *ground massif, compacted area, roller of holes (soil displacement auger), rolled hole, deconsolidation of soil.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими заданиями.** Для использования фундаментов в раскатанных скважинах необходимо определить границы уплотненной зоны, сформированной вытеснением грунта.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение проблемы.** Исследованию процессов формирования уплотненных зон вытеснением грунтов в окружающий массив различными способами посвящены многочисленные работы: Ю.А. Багдасарова, А.А. Бартоломея, Б.В. Бахолдина, Н.В. Бойко, Ю.Л. Винникова, В.С. Глухова, А.Л. Готмана, М.И. Горбунова-Посадова, А.А. Григорян, Б.И. Далматова, И.В. Дудлера, В.П. Дыбы, Г.И. Дьяченко, Н.Л. Зоценко, В.А. Ильичева, Д.И. Константиновского, В.И. Крутова, Л.Г. Мариупольского, А.А. Морозова, А.В. Пилягина, Е.А. Сорочана, И.Г. Рабиновича, А.М. Рыбникова, З.Г. Тер-Марти-

росяна, Ю.Г. Трофименкова, В.И. Феклина, Д.М. Шапиро, Б.В. Швеца, В.И. Шейнина и многих других.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** Необходимо разработать расчет уплотненной зоны, которая формируется вытеснением грунта в окружающий массив при раскатке конических и коническо-цилиндрических скважин с учетом развития процессов разуплотнения грунта.

Целью данной работы является изучить процессы, которые происходят в основаниях при раскатки скважин.

Изложение основного материала исследований.

Исследование процессов вытрамбовывания котлованов и их взаимосвязь с процессами раскатки скважин.

В г. Липецке, начиная с 1980 г., исследования процессов, происходящих при формировании уплотненных зон вытеснением грунтов в окружающий массив вытрамбовыванием котлованов, проводились по программе, разработанной 11 и 14 лабораториями НИИОСП им. Н.М. Герсеева. Исследования выполнялись как в лабораторных условиях на специальном стенде, так и на опытных строительных площадках с различными инженерно-геологическими условиями под руководством и при непосредственном участии Ю.А. Багдасарова, А.А. Морозова и И.Г. Рабиновича [1, 2, 3, 4].

Программа предусматривала выполнение полного комплекса полевых и лабораторных исследований физико-механических характеристик, слагающих площадку грунтов до и после вытрамбовывания в них котлованов на глубину  $H \geq 3 h_k$ , где  $h_k$  – глубина вытрамбованного котлована с помощью буровых и геофизических скважин. Количество и расположение скважин относительно друг друга и вытрамбованного котлована в плане назначалось в каждом конкретном случае в зависимости от следующих факторов:

- вида, состояния и характеристик грунтового массива до вытрамбовывания в нем котлована;
- формы, массы и геометрических размеров трамбовки;
- применяемых базовых машин (кранов) и технологического оборудования;
- принятого технологического режима вытрамбовывания котлована;
- вида материала и способа, применяемых при заполнении вытрамбованных котлованов.

Отбор монолитов и проб грунтов из буровых скважин производился с шагом по глубине через 0,2 – 0,5 м. Геофизические (гамма-гамма и нейтронный каротаж) исследования контролируемых параметров грунтов по скважинам осуществлялись с шагом по глубине через 0,20 – 0,25 м различными приборами: РВГ-36, РПГ-36, СВПГР-1, ППГР-1, ВПГР-1 и др.

Результаты проведенных исследований уплотненных зон, формируемых в грунтовых массивах после вытрамбовывания в них котлованов, послужили базой для исследований процессов, происходящих при раскатке скважин и устройстве в них несущих, армопреобразующих и преобразующих набивных свай в раскатанных скважинах (НРС).

Основными причинами перехода от технологии вытрамбовывания и устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах (ФВК) на технологию раскатки скважин и устройство НРС при строительстве зданий и сооружений в различных инженерно-геологических и построечных условиях являются:

- сложность контроля технологического процесса вытрамбовывания котлованов с целью снижения или устранения разуплотнения грунтов в формируемой уплотненной зоне, непосредственно влияющего на несущую способность ФВК;

– влияние динамического воздействия, возникающего при вытрамбовывании котлованов, на расположенные вблизи здания и сооружения;

– значительная масса трамбовок, требующая применения кранов грузоподъемностью не менее 10 т, перемещение которых по дну котлована не всегда возможно без выполнения специальных подготовительных работ;

– более высокие энергетические затраты на вытрамбовывание котлованов по сравнению с раскаткой скважин.

Формирование уплотненных зон при вытрамбовывании котлованов и раскатке скважин имеет характерные отличия.

При вытрамбовывании котлованов вытеснение грунта происходит при значительном энергетическом воздействии на грунтовый массив свободно падающей трамбовки и сопровождается прорезкой сложившейся структуры грунтового массива, в результате чего процессы разуплотнения развиваются практически сразу с начала вытрамбовывания котлована.

При раскатке скважин происходит постепенное вытеснение грунта в окружающий массив с относительно малыми энергетическими затратами, позволяющее сложившейся структуре грунтового массива уплотняться до своего предельного значения и только после достижения этого значения в уплотненной зоне развиваются процессы разуплотнения.

Увеличение диаметра НРС приводит (рис. 1) к снижению ее удельной несущей способности ( $F/A$ , кН/м<sup>2</sup>) и увеличению удельных энергетических затрат ( $W/A$ , кВт/м<sup>2</sup>) на раскатку скважины, где  $F$  – несущая способность НРС, кН;  $A$  – площадь поперечного сечения сваи, м<sup>2</sup>;  $W$  – энергетические затраты на раскатку скважины, кВт.

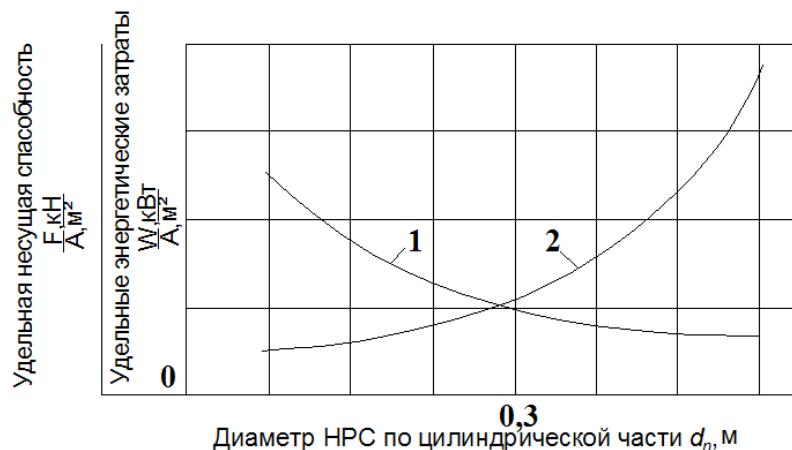


Рисунок 1 – Общий вид графиков зависимостей: 1 –  $F/A = f(d_n)$ ; 2 –  $W/A = f(d_n)$

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что НРС диаметром до 0,30 м имеют оптимальные значения удельной несущей способности и удельных энергетических затрат. Поэтому не случайно в ООО «ГеоТехПроектСтрой» основное применение для раскатки скважин и устройства НРС нашли раскатчики скважин (РС) диаметром 150 – 300 мм, с помощью которых за 21-летний период выполнено около 170 тысяч НРС в различных инженерно-геологических условиях при строительстве 131 объекта промышленного и гражданского назначения [6].

Несущая способность НРС, также как ФВК, зависит от объема вытесняемого в окружающий массив грунта, размера формируемой при этом уплотненной зоны и степени развития процессов разуплотнения грунтов.

Таким образом, достоверное определение параметров уплотненной зоны позволяет с необходимой точностью производить расчет прочностных и деформационных характеристик преобразуемых грунтовых массивов.

Расчет радиуса уплотненной зоны, формируемой при раскатке скважин.

При раскатке скважин в грунтовом массиве происходит взаимодействие трех основных процессов, которые влияют на формирование размеров границ уплотненных зон около скважинного пространства и несущую способность НРС:

- 1) разрушение сложившейся структуры грунтового массива вращательно-поступательным погружением РС;
- 2) формирование уплотненной зоны вокруг раскатанной скважины за счет вытесняемого РС грунта;
- 3) разуплотнение грунта в уплотненной зоне после достижения им предельной плотности, сопровождающееся образованием поверхностного выпора грунта и развитием радиальных трещин (рис. 2).

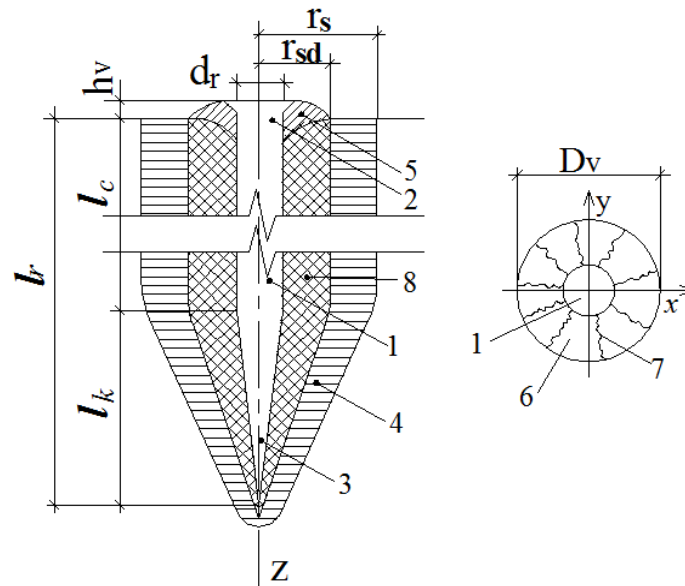


Рисунок 2 – Схема раскатанной скважины: 1 – ствол; 2 – устье; 3 – забой; 4 – уплотнённая зона; 5 – зона разуплотнения; 6 – зона выпора; 7 – радиальные трещины; 8 – зона эффективного уплотнения грунта

Основные параметры и обозначения раскатанной скважины и уплотненной зоны околоскважинного пространства:

- $d_r$  – диаметр цилиндрической части раскатанной скважины;
- $l_r$  – глубина раскатанной скважины;
- $l_k$  – длина конической части раскатанной скважины;
- $l_c$  – длина цилиндрической части раскатанной скважины;
- $r_s$  – радиус уплотненной зоны околоскважинного пространства;
- $r_{sd}$  – радиус эффективной зоны уплотнения грунта в околоскважинном пространстве, в пределах которой плотность грунта в сухом состоянии  $c_{ds} \geq 1,2c_d$ ;
- $h_v$  – высота поверхностного выпора грунта;
- $D_v$  – диаметр выпора и развития радиальных трещин в плане;
- $x, y$  – оси поперечного сечения скважины;
- $z$  – продольная ось скважины.

Теоретический расчет границ уплотненных зон, сформированных вытеснением грунта в окружающий скважину массив грунта, проводился для раскатанных скважин с конической и коническо-цилиндрической формой стволов по представленным расчетным схемам (рис. 3).

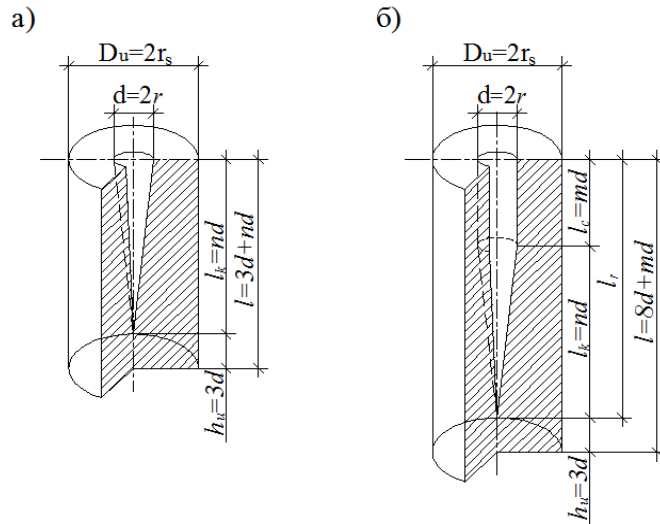


Рисунок 3 – Расчетные схемы для определения радиуса уплотненной зоны  $r_s$ , формируемой раскаткой конической (а) и коническо-цилиндрической (б) скважин

**При расчете уплотненных зон учитывались следующие условия:**

1. Подлежащий раскатке грунт представляет собой однородный по виду, состоянию и физико-механическим характеристикам массив.

2. Массив грунта представлен в виде условного цилиндра диаметром  $D_u = 2r_s$  и высотой  $l$ .

3. В массиве плотность грунта в сухом состоянии  $\rho_d$  до раскатки скважины распределена равномерно, а после раскатки скважины средневзвешенная плотность грунта в сухом состоянии равна  $\rho_{ds}$ .

4. Внешней границей уплотненной зоны является цилиндрическая поверхность радиусом  $r_s$ , по периметру которой  $\rho_{ds} = \rho_d + 0,01 \text{ г/см}^3$ .

5. Раскатка грунта осуществляется коническо-цилиндрическим РС жесткого типа, коническая (вытесняющая) часть которого имеет длину  $l_k = 5d$ , где  $d$  – диаметр цилиндрической (формирующей) части раскатчика.

6. Длина конической скважины принята с учетом отношения длины раскатанной конической скважины к диаметру ее устья  $n = l_k / d$ , которое характеризует величину угла конусности.

7. Длина цилиндрической части раскатанной скважины пропорциональна диаметру скважины  $l_c = m \cdot d$ .

8. Общая длина коническо-цилиндрической скважины  $l_r = l_k + l_c$ .

9. Граница уплотненной зоны распространяется ниже острия скважин на глубину  $h_u = 3d$ .

Определение радиуса уплотненных зон, сформированных вытеснением грунта раскаткой скважин конической и коническо-цилиндрической формы, проводилось, исходя из равенства масс грунта до и после раскатки в них скважин соответствующей формы.

С учетом геометрических соотношений радиус уплотненной зоны, сформированной раскаткой конической скважины, определяется по формуле (1)

$$r_{\text{ж}} = d \sqrt{\frac{n}{12(3+n)} \cdot \frac{c_{ds}}{c_{ds} - c_d}} \quad (1)$$

Для уплотненной зоны, сформированной раскаткой коническо-цилиндрической скважины, имеющей коническую часть длиной  $l_k = 5d$  и длину цилиндрической части  $l_c = m \cdot d$ , радиус уплотненной зоны с учетом отношения длины раскатанной конической скважины к диаметру ее устья  $n = l_k / d$  определяется по формуле (2)

$$r_s = d \sqrt{\frac{n+3m}{12(8+m)} \cdot \frac{c_{ds}}{c_{ds}-c_d}} \quad (2)$$

Теоретическое изменение плотности грунта  $\rho_{ds}$  в уплотненных зонах, сформированных раскаткой конической и коническо-цилиндрической скважин в однородном грунтовом массиве с начальной плотностью  $c_d = 1,56 \text{ г/см}^3$ , представлено (рис. 4) в виде графиков зависимости  $r_s = f(\rho_{ds})$ , построенных по формулам (1) и (2).

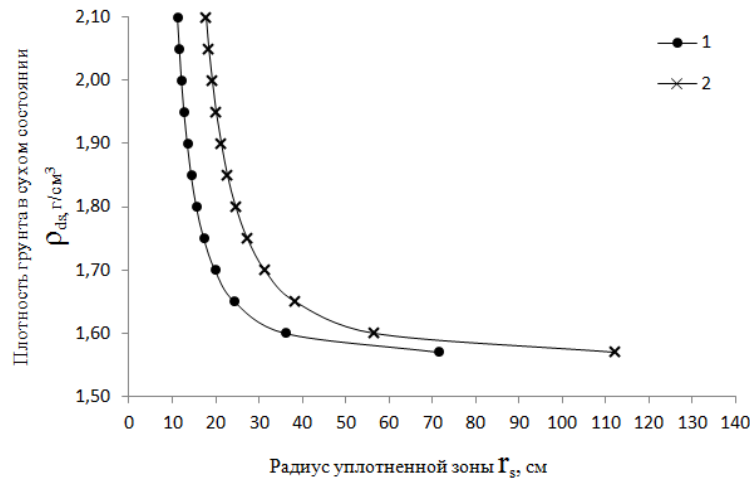


Рисунок 4 – Общий вид графиков зависимости  $r_s = f(\rho_{ds})$  в уплотненной зоне, сформированной раскаткой конической (1) и коническо-цилиндрической (2) скважин диаметром  $d = 25 \text{ см}$

Анализ приведенных на рисунке 4 графиков зависимости  $r_s = f(\rho_{ds})$  показывает:

1) в уплотненной зоне значения плотности грунта ( $\rho_{ds}$ ) распределяются неравномерно и возрастают по мере приближения к стволу скважин;

2) общий наклон графиков зависимости  $r_s = f(\rho_{ds})$  направлен в сторону продольной оси раскатанных скважин;

3) при значении  $c_{ds} \geq 2,05 \text{ г/см}^3$  график пересекает образующую поверхность конической скважины и стремится к бесконечности у коническо-цилиндрической скважины;

4) теоретические значения плотности грунта ( $\rho_{ds}$ ) в уплотненной зоне превышают максимально возможное значение плотности грунта  $c_{dc} = 1,82 \text{ г/см}^3$ , полученное по результатам стандартного уплотнения [7];

5) графики не отражают процессы разуплотнения, возникающие в реальных построечных условиях при формировании уплотненных зон раскаткой конической и коническо-цилиндрических скважин.

Данные противоречия свидетельствуют о необходимости корректировки расчетных формул (1) и (2), что возможно с помощью введения в них поправочного коэффициента  $k_d$ , определяемого по формуле (3) и учитывающего:

– степень увеличения плотности грунта в уплотненной зоне ( $\rho_{ds}$ ) относительно максимально возможной плотности грунта ( $\rho_{dc}$ ), полученной в приборе стандартного уплотнения;

– степень изменения начальной плотности грунта ( $\rho_d$ ) в уплотненной зоне

$$k_d = \frac{c_{ds}^2}{c_{ds} \cdot c_d} \quad (3)$$

Тогда для конической скважины формула (1) примет вид (4), а для коническо-цилиндрической формула (2) примет вид (5)

$$r_s = k_d \cdot d \sqrt{\frac{n}{12(3+n)} \cdot \frac{c_{ds}}{c_{ds}-c_d}} \quad (4)$$

$$r_s = k_d \cdot d \sqrt{\frac{n+3m}{12(8+m)} \cdot \frac{c_{ds}}{c_{ds}-c_d}} \quad (5)$$

Покажем по формулам (4) и (5) расчетным путем характер изменения параметров грунта в уплотненной зоне, сформированной в грунтовом массиве после раскатки:

- конической скважины с диаметром устья  $d = 25$  см, длиной  $l_k = 5 d$  (125 см);
- коническо-цилиндрической скважины с диаметром цилиндрической части  $d = 25$  см и длиной  $l_c = 5d$  (125 см) и конической части  $l_k = 5 d$  (125 см).

Массив имеет начальную плотность  $\rho_d = 1,56$  г/см<sup>3</sup> и максимальную плотность грунта в сухом состоянии  $\rho_{ds} = 1,82$  г/см<sup>3</sup>, полученную по результатам стандартного уплотнения.

Результаты расчета по уточненным формулам плотности сухого грунта в зависимости от радиуса уплотненной зоны приведены в виде графиков зависимости  $\rho_{ds} = f(r_s)$  на рисунке 5.

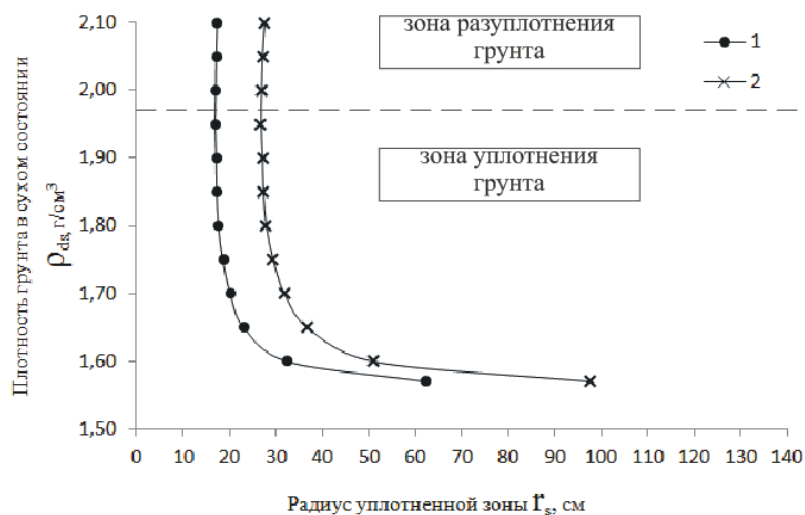


Рисунок 5 – Общий вид графиков зависимости  $r_s = f(\rho_{ds})$  уплотненной зоны, сформированной раскаткой скважин: 1 – конической; 2 – коническо-цилиндрической

**Выводы.** 1. Достоверно установлено, что формирование уплотненной зоны околоскважинного пространства вытеснением грунта в окружающий массив как вытрамбовыванием, так и раскаткой скважин сопровождается развитием процессов разуплотнения.

2. Эти процессы оказывают прямое влияние на прочностные и деформационные характеристики искусственных оснований из несущих, армопреобразующих и преобразующих НРС.

3. Развитие процессов разуплотнения в уплотненной зоне, формируемой раскаткой конических и коническо-цилиндрических скважин, достаточно точно определяется по формулам (4) и (5), что позволяет конструировать искусственные основания и фундаменты из НРС в различных инженерно-геологических и построечных условиях, отвечающих требованиям надежности.

#### Литература

1. Вытрамбованные грунтошлаковые подушки / И.Г. Рабинович, А.А. Морозов, А.Н. Саурин, В.М. Захаров // Тезисы докладов науч.-практ. конф. «Совершенствование и внедрение фундаментов на глубинно-уплотненном основании». – Пенза, 1989. – С. 23–29.

2. Морозов, А.А. Применение радиоизотопного метода для контроля качества вытрамбованных грунтошлаковых подушек / А.А. Морозов, И.Г. Рабинович, А.Н. Саурин // Тр. ВНИИОСП им. Н.М. Герсееванова «Новые конструкции фундаментов и методы подготовки оснований». – Вып. 95. – 1991. – С. 41–50.
3. Багдасаров, Ю.А. Формирование уплотненной зоны вытрамбованной грунтошлаковой подушки / Ю.А. Багдасаров, А.Н. Саурин // Сб. науч. статей междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные строительные конструкции». – Пенза: ПДЗ, 2004. – С. 120–126.
4. Саурин, А.Н. Исследование влияния формы острия трамбовки на формирование уплотненной зоны при вытрамбовывании котлованов / А.Н. Саурин, Ю.А. Багдасаров // Сб. науч. тр. РААСН. – 2004. – Вып. 3. – С. 140–146.
5. Саурин А.Н. Определение несущей способности набивных свай в раскатанных скважинах с помощью зондировочно-каротажного комплекса «ПИКА-15» / А.Н. Саурин // Промышленное и гражданское строительство. – 1998. – № 4. – С. 18–26.
6. Саурин А.Н. Результаты преобразования свойств слабого основания силосной емкости на 30 тыс. тонн шлаковыми НРС / А.Н. Саурин, А.И. Корпач, Ю.В. Редькина // Актуальные вопросы при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. трудов науч.-техн. конф. – СПбГАСУ, 2010. – С. 124–126.
7. ГОСТ 22733-2002 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. М.: Стройиздат, 2002. – 22 с.

Надійшла до редакції 19.09.2012  
© А.Н. Саурин, А.И. Корпач