

При формировании маршрута  $S$  присутствует элемент случайности: при определении очередного задания  $s_{ij}$  выбор осуществляется в соответствии с вектором вероятностей  $W(s_{ij}) = [w_1, w_2, \dots, w_N]$ , где  $w_k$  – вероятность того, что  $i$ -й рабочий в  $j$ -й день будет работать на  $k$ -м задании ( $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, T}, k = \overline{1, N}$ ) с учетом принятых в задаче ограничений.

Процесс разработки маршрута  $S$  реализуется путем последовательного просмотра всех дней на отрезке  $[1; T]$ , и для каждого  $j$ -го дня он состоит из двух этапов.

**Этап 1.** Определяется возможность назначения  $i$ -го рабочего на то задание, где он был задействован в предыдущий день. Такое назначение может быть невозможно в двух случаях:

- 1) если работа на этом задании полностью завершена;
- 2) если планируется невыход на работу  $i$ -го рабочего в  $j$ -й день.

Эта процедура повторяется последовательно для всех  $M$  рабочих в данный день. Если назначение возможно, то величина  $s_{ij}$  получает значение, равное номеру соответствующего задания. Затем осуществляется переход ко второму этапу, на котором распределяются остальные рабочие.

**Этап 2.** Дальнейшее формирование маршрута  $S$  производится путем последовательного закрепления за заданиями рабочих, не распределенных на первом этапе. Подробное описание всех шагов второго этапа приведено в [1] и на сайте

УДК 624.138.003

*Пчелин В.Н., Левчук А.А.*

## УПЛОТНЕНИЕ ГРУНТА РЕГУЛИРУЕМОЙ ТРАМБОВКОЙ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ОДНОВРЕМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ УДАРА В ДВУХ ТОЧКАХ УПЛОТНЕНИЯ

Для улучшения физико-механических свойств слабых грунтов основания, в ряде случаев, производят уплотнение грунта сбрасываемыми с высоты тяжелыми трамбовками.

Как показывают исследования, результаты которых представлены в [1], при уплотнении грунта трамбовками с созданием в грунте в процессе его уплотнения возрастающих динамических контактных напряжений от 0,6 до 2 МПа глубина уплотнения увеличивается на 15-20% с одновременным снижением энергозатрат на 14%. Кроме того, обеспечивается получение устойчивой плотности всей массы уплотненного грунта, так как исключается образование буферной зоны (взрыхленного слоя).

Наиболее простым способом, обеспечивающим возрастание создаваемых трамбовкой постоянной массы в грунте динамических контактных напряжений, является способ, основанный на уменьшении рабочей площади трамбовки [1], для чего на объекте достаточно иметь набор трамбовок с разными рабочими площадями. Однако при этом увеличиваются затраты труда на уплотнение грунта, связанные с необходимостью периодической замены трамбовок.

Указанный недостаток устраняет трамбовка постоянной

[3], где также представлен текст программы, реализованной в системе MATLAB 7.0.

Программа позволяет:

- 1) получить маршрут, удовлетворяющий обобщенному условию эффективности (1), представленный как в графическом виде (рис. 3), так и в виде текстового файла;
- 2) сохранить исходные данные в файле с расширением «dat» для последующей корректировки;
- 3) вводить исходные данные непосредственно в диалоговом режиме в окне «Автоматическое формирование маршрутов движения бригад по объектам» или путем корректировки файла с расширением «dat»;
- 4) предусмотреть, в случае необходимости, отдельную работу звеньев, или, наоборот, выполнение одного задания силами нескольких бригад (с учетом предпочтений при закреплении бригад (звеньев) за заданиями  $P''$ ).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Срывкина Л. Г., Чумерин Н. Ю. Метод автоматизации формирования маршрутов движения бригад и звеньев по объектам оперативного плана // Архитектура и строительство – 2005: Материалы I международного научно-практического семинара. – Брест: УО «Брестский государственный технический университет», 2005. – с. 108 – 117.
2. Павлючук Ю.Н., Срывкина Л.Г. Экономико-математическое моделирование процесса оперативного планирования в строительстве // Развитие инвестиционно-строительного комплекса России: Сб. научных трудов / Под общ. ред. С. М. Яровенко.- Москва: МИКХиС, 2004. – С. 182–187.
3. <http://www.exponenta.ru/educate/free/fileexchange/chumerin/chumerin.asp>

массы, у которой корпус выполнен из концентрично расположенных с возможностью их вертикального перемещения секций с фиксаторами каждой из них [2]. При этом уменьшение рабочей площади трамбовки достигается путем последовательного подъема с последующей фиксацией секций, начиная с наружной.

Однако данная трамбовка характеризуется сложностью конструкции и невысокой надежностью в работе, так как при нанесении ударов с поднятыми наружными секциями возникают большие динамические нагрузки, воздействующие на фиксаторы и приводящие к деформациям последних.

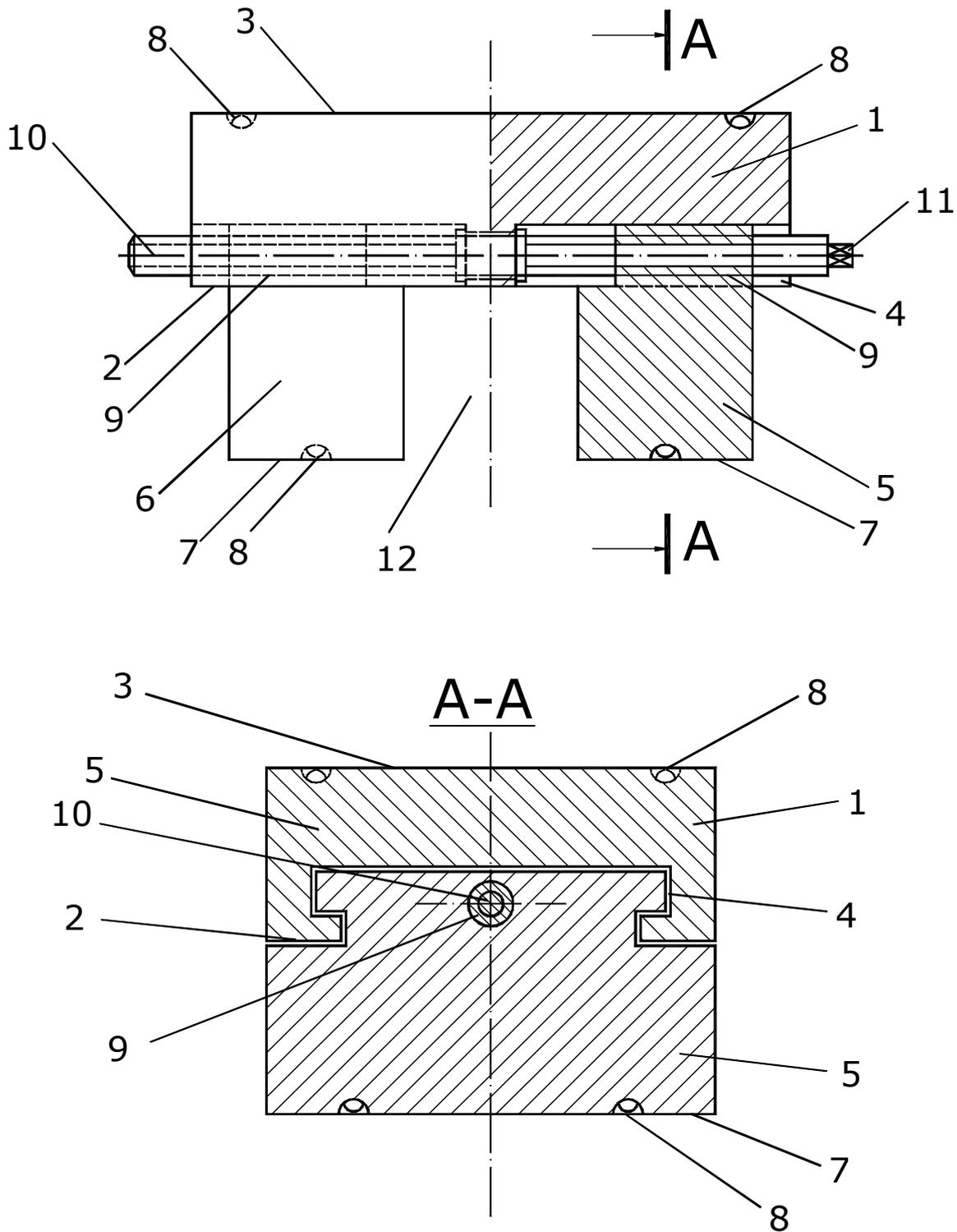
Кроме того, в каждом из циклов уплотнения грунта основания наносится удар только в одной точке уплотнения, что определяет невысокую производительность трамбовки, и обеспечивается невысокая плотность грунта в местах пересечения зон уплотнения грунта рядом расположенных точек уплотнения вследствие разновременного нанесения ударов в указанных точках.

Для упрощения конструкции трамбовки и повышения ее надежности, производительности и плотности уплотненного грунта авторами разработана новая конструкция трамбовки,

*Пчелин Вячеслав Николаевич, доцент кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.*

*Левчук Александра Александровна, студентка строительного факультета Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*



**Рис. 1.** Схема регулируемой трамбовки с обеспечением одновременного нанесения удара в двух точках уплотнения:  
 1 – корпус; 2 – нижнее основание; 3 – верхнее основание; 4 – Т-образная направляющая; 5 - основной выступ; 6 – дополнительный выступ; 7 – рабочие участки выступов; 8 – петли; 9 – отверстия с винтовой нарезкой; 10 – винт; 11 – квадратная головка; 12 – зазор.

обеспечивающая возможность одновременного нанесения удара сразу в двух точках уплотнения и регулирования создаваемых в грунте динамических контактных напряжений.

Предлагаемая трамбовка для уплотнения грунта содержит корпус 1 с горизонтальными нижним 2 и верхним 3 основаниями (рис.1). Корпус 1 выполнен в виде прямой четырехгранной призмы. Нижнее основание 2 корпуса 1 выполнено с Т-образной направляющей 4 и снабжено основным 5 и дополни-

тельным 6 выступами. Выступы 5,6 выполнены с лежащими в одной горизонтальной плоскости рабочими участками 7, расположены симметрично относительно оси корпуса 1 и прикреплены к корпусу 1 с возможностью перемещения в Т-образных направляющих 4 относительно друг друга и корпуса 1.

Расположение выступов 5,6 симметрично относительно оси корпуса 1 позволяет исключить возможный переко-

трамбовки при нанесении удара выступами 5,6, т.е. обеспечивает работоспособность трамбовки.

Рабочая площадь каждого из выступов 5,6 принимается по выражению:

$$F = \frac{F_{\text{во}} \cdot P_{\text{во}}}{2(P_{\text{во}} + P_{\text{ш}})}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{во}}$  - рабочая площадь верхнего основания корпуса 3;

$P_{\text{во}}$  - создаваемые в грунте динамические контактные напряжения при его уплотнении верхним основанием 3;

$P_{\text{ш}}$  - шаг возрастания динамических контактных напряжений.

Для обеспечения подъема трамбовки на расчетную высоту верхнее основание 3 и выступы 5,6 снабжены устройствами для зацепления, которые, например, могут быть выполнены в виде втопленных монтажных петель 8.

Масса и рабочая площадь верхнего основания 3 трамбовки, высота ее сбрасывания подбираются из условия создания в грунте при нанесении удара верхним основанием 3 необходимых начальных динамических контактных напряжений  $P_{\text{во}}$ , которые можно принимать порядка 1...1,5 МПа.

Шаг возрастания динамических контактных напряжений  $P_{\text{ш}}$  следует принимать равным 0,6...1 МПа, при этом в грунте, в случае нанесения удара выступами 4,5, будут создаваться динамические контактные напряжения, равные 2...2,1 МПа.

Для обеспечения перемещения выступы 5,6 выполнены со сквозными соосными горизонтальными отверстиями 9 с винтовой нарезкой, а трамбовка снабжена механизмом перемещения выступов 5,6 в виде прикрепленного горизонтально к корпусу 1 с возможностью вращения винта 10, пропущенного через отверстия 9 выступов 5,6 с возможностью взаимодействия с их винтовой нарезкой. Причем винтовые нарезки винта 10 и отверстий 9 выполнены с возможностью обеспечения, при вращении винта 10, перемещения выступов 5,6 в противоположные стороны, для чего выступ 5 выполнен с правозаходной, а выступ 6 - с левозаходной винтовыми нарезками. Один из свободных концов винта 10 снабжен квадратной головкой 11 под ключ. Высота выступов 5,6 и корпуса 1 должна на 5...10 см превышать глубину отпечатков после уплотнения ими грунта.

Трамбовка работает следующим образом.

На первом этапе уплотнения путем многократного подъема и сбрасывания трамбовкой наносятся удары верхним ее основанием 3 с рабочей площадью  $F_{\text{во}}$ , при этом в грунте создаются динамические контактные напряжения 1...1,5 МПа.

Затем, после уплотнения всей площади грунтового массива, трос грузоподъемной машины открепляют от петель 8 нижнего основания 2, поворачивают трамбовку на 180°, цепляют ее за петли 8 верхнего основания 3 и приподнимают трамбовку над землей.

Далее определяют зависящее от физико-механических свойств уплотняемого грунта расстояние между выступами 5,6 (рис.2), при котором будет обеспечиваться пересечение зон уплотнения грунта выступами 5, по выражению [3]:

$$L = \sqrt[3]{-\frac{c}{2a} - \left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \sqrt{\left[-\frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^3 + \left[2\left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \frac{d_{mp}}{a}\right]^2}} + \sqrt[3]{-\frac{c}{2a} - \left(\frac{b}{3a}\right)^3 - \sqrt{\left[-\frac{1}{9}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^3 + \left[2\left(\frac{b}{3a}\right)^3 + \frac{d_{mp}}{a}\right]^2}}, \quad (2)$$

где

$$C = \left( \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{2} \cdot \delta - \frac{\pi}{24} \text{tg}\phi \cdot d_{mp}^3 \right) \cdot (\rho_d - \rho_d^{mp}) - \rho_d^{mp} \cdot \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{2} \cdot \delta;$$

$$a = -\frac{\text{tg}\phi}{2} \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \ln 3 \right) \cdot (\rho_d - \rho_d^{mp});$$

$$b = \left( \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot l - \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \delta - \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \text{tg}\phi \cdot d_{mp} \right) \cdot (\rho_d - \rho_d^{mp});$$

$d_{mp}$  - диаметр секции 1 трамбовки;

$\delta$  - глубина отпечатка секции 1 трамбовки после уплотнения грунта;

$\phi$  - угол наклона образующей конуса зоны уплотнения;

$\rho_d$  - плотность сухого грунта природного сложения;

$\rho_d^{mp}$  - требуемая плотность сухого грунта после уплотнения;

$l$  - глубина уплотняемой толщи грунта.

$\delta$  и  $\phi$  могут определяться на основании пробного уплотнения трамбовкой грунта, при этом  $\delta$ , как правило, принимается не более 1 м, так как в противном случае затрудняется выемка секций из грунта.

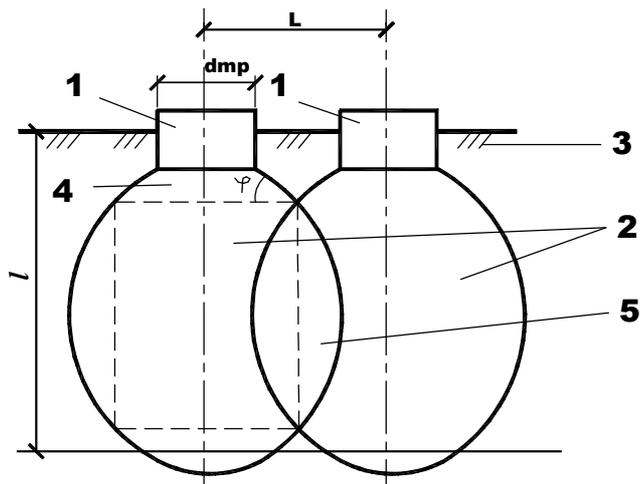


Рис. 2. Развертка в разрезе схемы создаваемых выступами зон уплотнения грунта:

1 -выступы; 2 - зона уплотнения; 3 - грунт; 4 - конус зоны уплотнения; 5 - место пересечения зон уплотнения.

Для получения расчетного расстояния между выступами 5,6 одеваемым на головку 11 ключом вращают винт 10, при этом, в зависимости от направления вращения винта 10, выступы 5,6 раздвигаются или сдвигаются. После обеспечения расчетного расстояния между выступами 5,6, при этом между ними образуется зазор 12, производят заключительный этап уплотнения путем нанесения ударов выступами 5,6 до отказа понижения поверхности и полного формирования пересекающихся зон уплотнения грунта.

Принятие рабочей площади каждого из выступов 5,6 по выражению (1) позволяет обеспечить создание в грунте возрастающих динамических контактных напряжений, при очередном уплотнении грунта верхним основанием 3 и выступами 5,6, что обуславливает снижение на 14% энергозатрат на уплотнение грунта, увеличение на 15-20% глубины уплотнения и устойчивую плотность всей массы уплотненного грунта.

Кроме того, выступами 5,6 одновременно наносится сразу два удара, благодаря чему повышается производительность трамбовки за счет сокращения количества циклов ее работы и в центре (в наиболее удаленных от выступов 5,6 точках) мест пересечения зон уплотнения грунта создаются увеличенные примерно в 2 раза динамические контактные напряжения,

Благодаря одновременному нанесению ударов в двух точках уплотнения в 1,5..2 раза повышается производительность трамбовки и в месте пересечения создаваемых секциями между уплотнения грунта, вследствие назначения расстояния между выступами 5,6 по выражению (2), создаются увеличенные примерно в два раза динамические напряжения, обеспечивающие повышение на 30...40% степени уплотнения грунта. Возможность регулирования расстояния между секциями расширяет область применения трамбовки. В совокупности, вышесказанное определяет повышение эффективности уплотнения грунта.

На разработанную конструкцию составной трамбовки подана заявка на выдачу патента РБ на полезную модель, по ко-

УДК 624.012.45

*Драган В.И., Шалобыта Н.Н.*

## К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Современные большепролетные покрытия чисто условно считаются легкими конструкциями, так как в действительности обладают достаточно большой массой. Однако они в значительной степени менее материалоемки, чем традиционные, что позволяет рассматривать их как легкие конструкции. Структурные конструкции относятся к классу пространственных стержневых конструкций, используемых чаще всего в качестве несущих элементов покрытий зданий общественного и производственного назначения. В современной практике встречаются структуры не только сварные, но и собираемые с механическим соединением стержней в узлах. Сборка таких конструкций возможна в двух вариантах: 1) поэлементно из отдельных стержней, доставляемых на строительную площадку россыпью; 2) из крупноразмерных элементов полной заводской готовности (плоские или пространственные фермы). Достоинствами таких структур являются: возможность создания большого пролета между опорами, индустриальность изготовления элементов структуры и их сборки, возможность размещения коммуникационных трасс между поясами структуры.

Геометрия структур имеет множество альтернативных форм, однако вопрос объединения элементов в структурную конструкцию является если не главным, то, по крайней мере, определяющим при их проектировании. В настоящее время разработаны различные типы соединений с широкими областями применения каждого из них. Для более детального изучения вопроса рационального использования того или иного типа узлового соединения были рассмотрены основные виды применяемых на сегодняшний день соединений и предложен новый вариант узлового соединения.

Существующие разнообразные решения узловых соединений структурных конструкций в зависимости от вида применяемых в них соединений можно подразделить на три группы [1,2]:

- сварные узловые соединения, изготавливаемые на строительной площадке – узел ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, «Октаплат» (Германия), «SDC» (Франция) и др. [1];
- болтовые узловые соединения – «Юнистрат» (США), «Триодетик» (Канада), «КИСИ» (СССР) и др. [1, 2];

*Шалобыта Николай Николаевич, ст. преподаватель кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.*

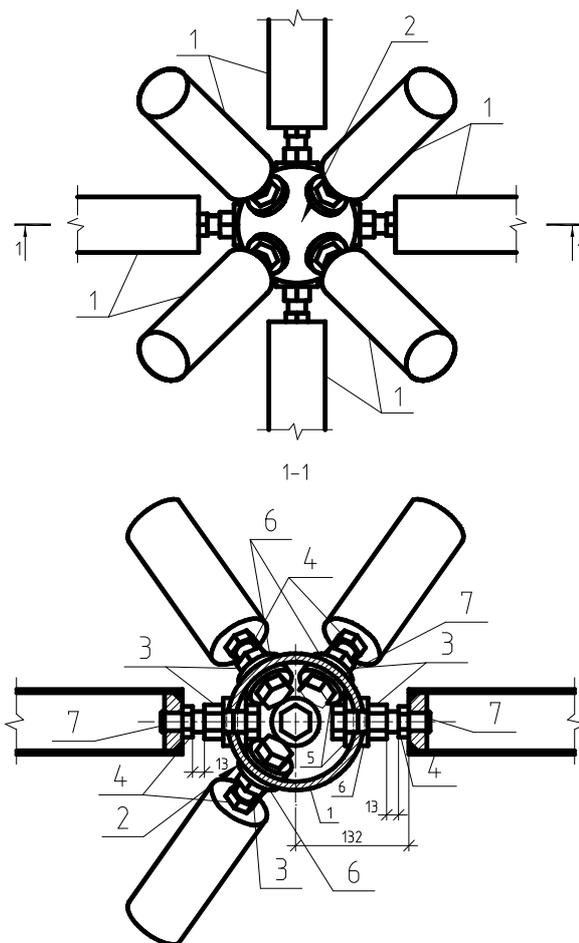
*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

*Строительство и архитектура*

торой вынесено положительное решение на выдачу патента.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. С. 1289959 СССР, МКИ Е 02 D 3/046. Способ уплотнения связных грунтов трамбованием./ В.Д.Зотов, Е.А. Сорочян, Ю.П. Кальнин, И.В. Ананьев, А.И. Семенов, Ш.М. Шлафман; Ростовский инженерно-строительный ин-т.- №3899039/29-33; Заявл.01.04.85; Опубл.15.02.87; Бюл.№6 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки.- 1987.- №6.
2. А. С. 1335643 СССР, МКИ Е 02 D 3/046. Трамбовка для уплотнения грунта./ Ю.П.Кальнин, В.Д.Зотов, А.И.Семенов; Ростовский инженерно-строительный ин-т.- №4048966/29-33; Заявл.04.04.86; Опубл.07.09.87; Бюл.№33 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки.- 1987.- № 33.
3. Пойта П.С. Строительные свойства искусственных оснований.- Брест: издательство БГТУ. – 2004, рис.5.7, с.99.



*Рис. 1. Узел БрГТУ.*

1 – стержневой элемент структуры, 2 – узловой элемент – полый шар, 3 – силовая гайка, 4 – стопорные гайки, 5, 6 – шайбы с вогнутой сферической поверхностью, 7 – крепежный болт.