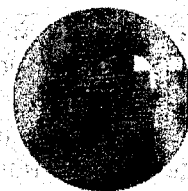




# АС'05



## АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО – 2005

## ARCHITEKTUR UND BAUWESEN – 2005

I Международный научно-практический семинар

I Internationales wissenschaftlich-praktisches Seminar

### СПОСОБ ГЛУБИННОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА РАБОЧИМ ОРГАНОМ С ВИНТОВЫМИ ЛОПАСТЯМИ

*Пойта П.С.<sup>I</sup>, Пчелин В.Н.<sup>II</sup>, Винокуров Е.Ф.<sup>III</sup>*

Одним из наиболее важных этапов при строительстве зданий и сооружений является уплотнение грунтов для увеличения их несущей способности, устойчивости и уменьшения сжимаемости, водопроницаемости.

Нередко в строительстве возникает необходимость уплотнения грунта на большой глубине, в этом случае наиболее широко используются сбрасываемые с высоты 5-6 м трамбуемые плиты, которые обеспечивают глубину уплотнения до 5,5+6 м при их массе 10 т (см [1], с. 103).

Однако применение тяжелых трамбовочных средств сопряжено с опасностью для подземных и наземных конструкций, затруднено в стесненных условиях и характеризуется невысокой производительностью.

Исключить динамическое воздействие и обеспечить высокую производительность позволяет винтовое продавливание спиралевидными снарядами в грунте скважин с последующим заполнением их грунтом (см. авт.св. СССР N1086106). В данном случае винтовые лопасти предназначены только для уменьшения необходимого осевого напора и практически не участвуют в непосредственном уплотнении грунта вследствие их малого вылета относительно корпуса, что определяют небольшие размеры уплотняемой зоны грунта.

Увеличить в 2..3 раза размеры в плане зоны уплотняемого грунта позволяет разработанный в Брестском государственном техническом университете способ глубинного уплотнения грунта, для реализации которого используется рабочий орган в виде цилиндрического ствола с винтовой лопастью-наконечником в нижней части [2]. В этом случае уплотнение грунта происходит в два этапа. На первом этапе, в процессе завинчивания рабочего органа, грунт раздвигается, уплотняясь стволом и винтовой лопастью, образуя скважину и винтовую полость. На втором этапе производится вывинчивание рабочего органа с периодическим его осаживанием. В процессе осаживания грунт сдвигается вниз и, дополнительно уплотняясь, заполняет скважину и винтовую полость, что приводит к образованию окончательной зоны уплотненного грунта.

Однако при осаживании рабочего органа над его винтовой лопастью образуется полость, размеры которой увеличиваются по мере вывинчивания рабочего органа из грунта.

<sup>I</sup> Пойта Петр Степанович, д.т.н., ректор Брестского государственного технического университета (БГТУ)

<sup>II</sup> Пчелин Вячеслав Николаевич, доцент кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета (БГТУ)

<sup>III</sup> Винокуров Евгений Федорович, доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

При попадании в полость лопасти рабочий орган прокручивается на месте, так как лопасть, не взаимодействуя с грунтом, не в состоянии создать подъемную силу. В этом случае для обеспечения вывинчивания рабочего органа необходимо приложение к нему не только крутящего момента, но и осевого выдергивающего усилия.

Для исключения или значительного уменьшения прикладываемого к рабочему органу при его вывинчивании осевого выдергивающего усилия авторами разработан новый способ уплотнения грунта (рис.1), для реализации которого используется рабочий орган 1 в виде цилиндрического корпуса 2 с винтовой лопастью 3 и коническим наконечником 4 в нижней части и дополнительная винтовая лопасть 5, прикрепленная к одетой на корпус 2 с возможностью осевого перемещения оболочке 6. Угол подъема витков лопастей  $\alpha$  должен быть не более  $\arctg(f)$ , где  $f$  – коэффициент трения материала лопастей 3,5 по грунту.

К внутренней поверхности оболочки 6 и наружной поверхности корпуса 2 прикреплены продольные шпоночные выступы 7, предотвращающие поворот оболочки 6 и корпуса 2 относительно друг друга и не препятствующие их осевому перемещению для обеспечения одновременного завинчивания, осаживания и вывинчивания оболочки 6 и корпуса 2.

Вначале в грунт одновременно завинчивают рабочий орган 1 и оболочку 6 с дополнительной винтовой лопастью 5 посредством приложения к их оголовкам крутящего момента  $M_{кр}$  с вращением по часовой стрелке и вдавливающего усилия  $P$  (рис.1 а). При этом грунт из-под наконечника 4, уплотняясь, отжимается в стороны от корпуса 2 и оболочки 6 и образуется скважина 10. Уплотнение грунта производится также винтовыми лопастями 3,5, после прохождения которых в грунтовом массиве остаются винтовые полости 11.

Лопасть 3 рабочего органа 1 завинчивается в грунт на отметку, превышающую отметку низа проектной зоны уплотнения грунта на величину  $H_0$ , а лопасть 5 оболочки 6 – на отметку, превышающую отметку завинчивания лопасти 3 на величину  $H$ .

Затем производят вывинчивание рабочего органа 1 и оболочки 6 ступенями крутящим моментом  $M_{кр}$  с вращением против часовой стрелки.

Перед вывинчиванием на каждой из ступеней к корпусу 2 и оболочке 6 прикладывают направленную вниз осевую нагрузку  $P_0$  (динамическую ударную или вибрационную).

Вначале, после открепления оболочки 6 от корпуса 2, нагрузку  $P_0$  прикладывают к оболочке 6 с лопастью 5 (фиг.1 б) с их осаживанием на величину  $\Delta h_k$ , при которой будет обеспечена ликвидация полостей 11, расположенных между лопастями 3,5.

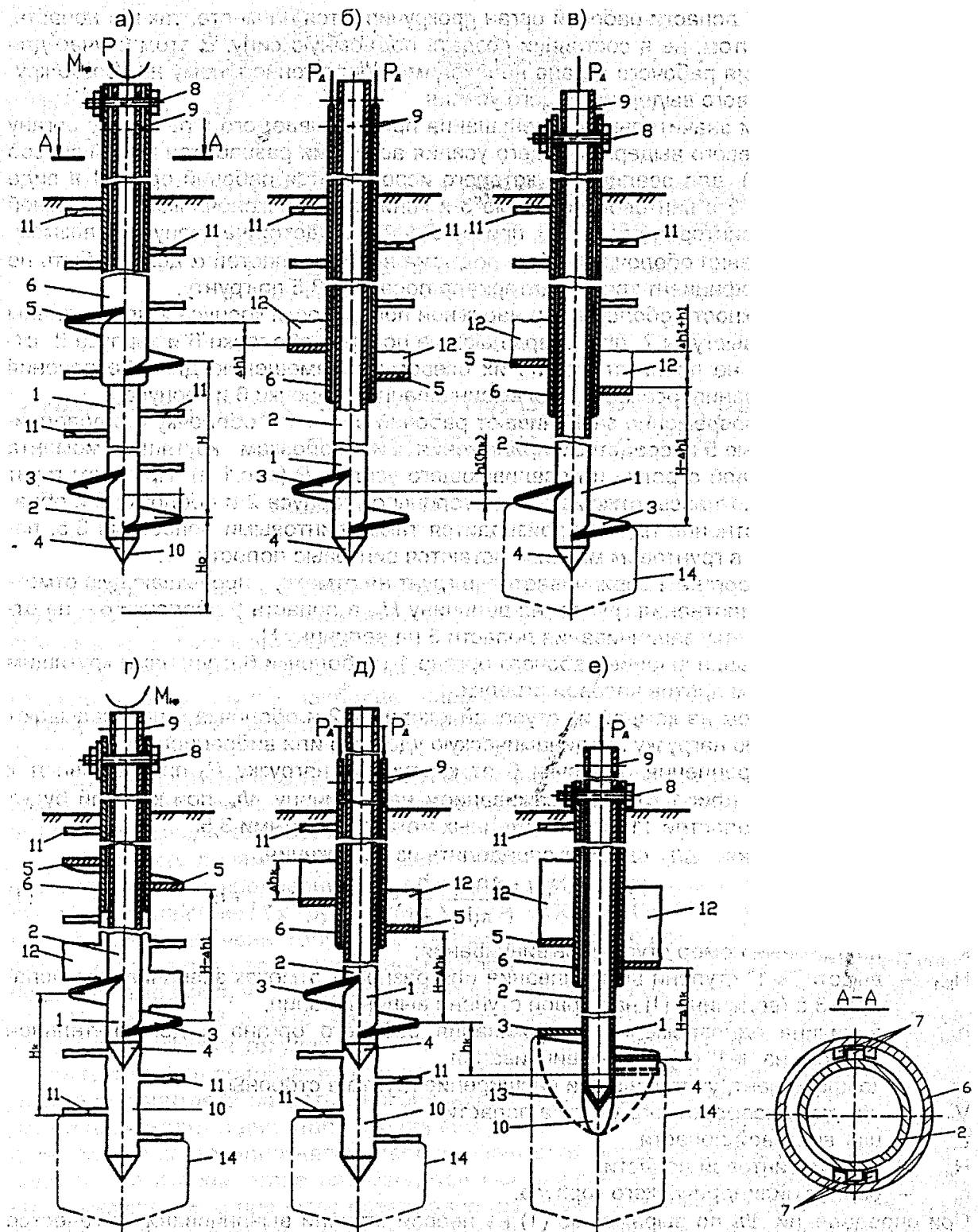
Величину осаживания  $\Delta h_k$  следует определять из выражения:

$$\Delta h_k = \frac{(H_{k-1} - \Delta h_{k-1} - h_{k-1})m \cdot V_{л} + \Delta h_{k-1} + h_{k-1}}{t \cdot \pi(R_{л}^2 - r_{ц}^2)} \quad (1)$$

- где  $k$  – порядковый номер ступени вывинчивания;
- $H_{k-1}$  – высота "к-1" ступени вывинчивания или разность отметок завинчивания лопастей 3,5 (величина  $H$ ) на первой ступени вывинчивания;
- $h_{k-1}$  – величина одновременного осаживания рабочего органа и дополнительной лопасти на "к-1" ступени вывинчивания;
- $m$  – коэффициент, учитывающий расширение грунта в стороны;
- $V_{л}$  – объем однооборотного участка лопасти;
- $t$  – шаг винтовой лопасти;
- $R_{л}$  – радиус винтовой лопасти;
- $r_{ц}$  – радиус цилиндрического корпуса.

При определении  $\Delta h_k$  по выражению (1) на первой ступени вывинчивания в качестве  $H_{k-1}$  принимается разность отметок завинчивания лопастей 3,5, т.е. величина  $H$ .

После осаживания лопасти 5 оболочку 6 скрепляют с корпусом 2 болтовым соединением 8 и осевую нагрузку  $P_0$  прикладывают одновременно к корпусу 2 и оболочке 6 (рис.1 в) до получения их осаживания на величину  $h_k$ , выбранную из соотношения:



1 – рабочий орган; 2 - корпус; 3 – винтовая лопасть; 4 – наконечник; 5 – дополнительная винтовая лопасть; 6- оболочка; 7 - шпоночные выступы; 8 – болтовое соединение; 9 – отверстия; 10 – скважина; 11 – винтовая полость; 12 – полость в грунте; 13 – плоскость сдвига; 14 – уплотненная зона грунта. Их скрепляют, например болтовым соединением 8, при этом болт пропускается через отверстия 9 в оболочке 6 и корпусе 2.

Рисунок 1 – Последовательность операций глубинного уплотнения грунта с осаживанием рабочего органа при его вывинчивании

$$h_k = \max \left\{ \begin{array}{l} \left( 1 - \frac{\gamma}{\gamma_{уп}} \right) H_{k-1} \cdot m \\ H_{k-1} \left( \frac{V_n}{t} + \pi r_{ц}^2 \right) \cdot m \\ \pi R_{л}^2 \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $\gamma$  — плотность скелета грунта до его уплотнения;  
 $\gamma_{уп}$  — необходимая плотность скелета грунта после его уплотнения;  
 $H_{k-1}$  — высота "к-1" ступени вывинчивания или величина превышения отметки завинчивания лопасти рабочего органа над отметкой низа зоны уплотнения.

Верхнее выражение в соотношении (2) определяет минимальную высоту осаживания рабочего органа 1, обеспечивающую необходимую плотность скелета грунта после его уплотнения, а нижнее — обеспечивающую полное заполнение сдвигаемым грунтом скважины 10 и винтовых полостей 11.

В идеальном случае параметры рабочего органа 1 следует подбирать такими, чтобы  $h_k$  по верхнему и нижнему выражениям в (2) были равны.

Перед вывинчиванием рабочего органа 1 и дополнительной винтовой лопасти 5 на первой ступени посредством их осаживания на  $h_1$  производится уплотнение грунта в пределах участка  $H_0$  с ненарушенной структурой. В этом случае при определении  $h_1$  нижнее выражение принимается равным нулю, так как на указанном участке  $H_0$  свободных полостей нет, а в верхнем выражении в качестве  $H_{k-1}$  принимается  $H_0$ .

При осаживании лопасти 5 и рабочего органа 1 над лопастью 5 образуется полость 12, которая по мере вывинчивания увеличивается.

После осаживания рабочего органа 1 и дополнительной лопасти 5 на  $h_1$  производят их вывинчивание на высоту первой ступени (рис.1 г). Благодаря ликвидации полостей 11 между лопастями 3,5 и отсутствия полости над лопастью 3 для вывинчивания достаточно приложить к оголовку корпуса 2 только  $M_{кр}$  или  $M_{кр}$  и незначительное выдергивающее усилие, так как необходимая подъемная сила создается при взаимодействии лопасти 3 с грунтом.

Вследствие скрепления оболочки 6 с корпусом 2 подъемная сила, создаваемая лопастью 3, передается на оболочку 6 с лопастью 5, вследствие чего последняя беспрепятственно проходит полость 12.

После вывинчивания на первой ступени начинается новый цикл уплотнения грунта с первоначальным осаживанием оболочки 6 с лопастью 5 на  $\Delta h_k$  (рис.1 д) и с последующим одновременным осаживанием оболочки 6 с лопастью 5 и рабочего органа 1 с лопастью 3 на  $h_k$  (рис.1 е).

При этом в процессе осаживания лопасти 5 ликвидируются полости 11 между лопастями 3,5, а при одновременном осаживании лопастей 3,5 под воздействием нагрузки, передаваемой от винтовой лопасти 3 на грунт, происходит обрушение грунта по плоскости сдвига 13, заполнение им участка скважины 10 и винтовых полостей 11 с дополнительным уплотнением. Обрушению грунта в сторону скважины 10 способствует выполнение лопасти 3 с наклоном в сторону наконечника 4 под углом  $\beta < 90^\circ$ .

Высота каждой из ступеней вывинчивания принимается в зависимости от вида уплотняемого грунта, плотности его скелета и характера динамической нагрузки  $P_0$ . Кроме того,  $H_k$  следует принимать такой, чтобы на предпоследней ступени вывинчивания из грунта вышла лопасть 5, а на последней ступени — лопасть 3.

В случае, если высота каждой из ступеней вывинчивания одинаковая, разность отметок завинчивания лопастей 3,5 (рис.1 а)  $H$  принимается из выражения:

$$H \geq H_c + \Delta h_n, \quad (3)$$

где  $H_c$  — высота ступени вывинчивания;  
 $\Delta h_n$  — высота осаживания дополнительной лопасти на последней ступени вывинчивания.

При назначении  $H$  по выражению (3) лопасть 3 при вывинчивании никогда не попадет в полость 12, которая на заключительных этапах имеет максимальные размеры, в противном

случае будет происходить прокручивание лопасти 3 на месте вследствие отсутствия ее контакта с грунтом.

На последней ступени вывинчивания, после выхода лопасти 3 на дневную поверхность, производят дополнительное осаживание только рабочего органа 1.

В процессе вывинчивания рабочего органа 1 и оболочки 6 с лопастью 5 с их осаживанием осевой нагрузкой в грунте образуется уплотненная зона 14 с оседанием грунта.

На заключительном этапе, после полного вывинчивания рабочего органа 1 и оболочки 6 с лопастью 5, в образовавшуюся в грунте в результате его уплотнения выемку подсыпается слоями малосжимаемый грунт с его уплотнением трамбовками.

Степень уплотнения грунта может регулироваться высотой ступеней вывинчивания, величиной и характером динамической нагрузки  $P_d$ , объемом винтовых лопастей 3,5 и диаметром корпуса 2.

В случае необходимости значительного увеличения плотности грунта корпус 2 выполняется полым, а наконечник 4 – раскрываемым. При этом, в процессе вывинчивания рабочего органа 1 и оболочки 6 производят заполнение скважины 10 малосжимаемым грунтом (на чертежах не показано).

Ликвидация полостей в грунте над винтовой лопастью рабочего органа посредством осаживания дополнительной лопасти позволяет исключить или значительно уменьшить прикладываемое к рабочему органу при его вывинчивании осевое выдергивающее усилие, что повышает эффективность уплотнения грунта.

Таким образом, предлагаемый способ глубинного уплотнения имеет ряд достоинств, позволяя образовывать зоны уплотненного грунта значительных размеров как по глубине, так и в плане. С точки зрения практического применения данный способ имеет важное значение в тех случаях, когда необходимым является уплотнение грунта в непосредственной близости к существующим зданиям и сооружениям.

Предлагаемый способ глубинного уплотнения грунта защищен патентом РБ на изобретение №6558 [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Неклюдов М.К. Механизация уплотнения грунтов. - М.: Стройиздат, 1985.-168с.
2. Патент РБ №3940, МКИ Е 02D 3/00, 3/046, 5/56. Способ глубинного уплотнения грунта / В.Н.Пчелин, И.В.Губаревич, В.Н.Черноиван, А.В.Щербач; Учреждение образования "Брестский государственный технический университет" (ВУ); Заявл.14.04.98; Оpubл.30.06.01; Бюл.№2 // Афіцыйны бюлетень.- 2001.- № 2.- с.134.
3. Патент РБ №6558 С2, МКИ Е 02D 3/00, 3/046, 5/56. Способ глубинного уплотнения грунта/ В.Н.Пчелин, Черноиван В.Н., Щербач В.П.; Учреждение образования "Брестский государственный технический университет" (ВУ). - Заявл.07.02.01; Оpubл. 30.09.04; Бюл.№3 // Афіцыйны бюлетень.- 2004.- № 3.- с.150.