

Е.С. Судницына, С.И. Вахрушев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
Россия

Исследование способов повышения эффективности погружения свай методом вдавливания

Целью написания данной статьи является поиск новых конструкторских и технических решений для повышения эффективности погружения свай методом вдавливания. Объектом исследования являются машины и установки, погружающие сваи в грунт вдавливанием. Предметом исследования будет являться эффективность работы сваевдавливающего оборудования и способы ее увеличения. Данная проблема одна из самых значимых и актуальных при строительстве и реконструкции фундаментов в настоящее время. Постоянное усложнение формы и конструкций современных строящихся зданий и сооружений в значительной мере увеличивает требования к их основаниям и фундаментам. Опыт строительной практики показывает, что именно область фундаментостроения в наибольшей мере имеет потенциал развития и повышения эффективности и качества строительства. А так же актуальность и востребованность данной проблемы значительно возрастает в связи с увеличением объемов работ, связанным с реконструкцией старых зданий и сооружений, промышленных предприятий, где высокий уровень шумовых и динамических воздействий не допустим. Применение существующего оборудования сдерживается из-за несовершенства его конструкций, недостаточной разработки технологии погружения индустриальных свай. Исследование и обоснование рациональной технологии вдавливания свай с помощью нового оборудования обуславливает актуальность данной статьи. В статье проводится обзор и детальный анализ методик и способов повышения производительности сваевдавливающих агрегатов. Рассматриваются такие методы, которые основаны на выполнении специальных технологий и определенной последовательности действий по погружению свай, шпунтов, а так же способы увеличения производительности машин с помощью использования дополнительного оборудования. Особое внимание в данной статье обращается на механизмы, имеющие в своем составе систему анкеровки различного вида, конструкций и дополнительным пригрузам. На основе изученных изобретений были приведены примеры сваевдавливающих агрегатов, которые отвечают требованиям высокой производительности, скорости и эффективности работы в различных грунтовых и климатических условиях и которые могут быть использованы в процессе производства свайных работ на строительных площадках. В ходе проведенного исследования были описаны состав сваевдавливающего оборудования, его принцип действия и область применения. Были сделаны выводы о перспективах развития сваевдавливающих машин и увеличении эффективности погружения свай в грунт методом вдавливания. А так же выявлены наиболее перспективные устройства и методы, отвечающие требованиям современных строительных технологий.

Ключевые слова: машины, оборудование, сваевдавливающая установка, метод вдавливания, погружение свай, анкерная система, эффективность вдавливания, пригруз.

E.S. Sudnitsyna, S.I. Vakhrushev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Investigating ways to improve pile pressing efficiency

The article aims at searching new structural and engineering ways to improve the efficiency of pile pressing. The study object is presented by machines and pile pressing units. The study subject is supposed to be the efficiency of pile pressing equipment and the ways to improve it. At present this problem is considered to be one of the most important and urgent issues when constructing and reconstructing foundations. Constant complication of both forms and building parts of modern structures increases the requirements to their basements and foundations to a great extent. According to the building experience, it is the foundation construction field

that has the biggest potential to increase the construction efficiency and quality. Moreover, the significance of this problem is explained by a growing volume of works connected with the reconstruction of old buildings and structures, as well as industrial enterprises where a high level of dynamic and noise effects is not acceptable. The application of the existing equipment is restrained due to its structural elements imperfection and insufficient process development of industrial piles installation. Investigating and justifying of pile pressing rational technologies with the help of new equipment make the following article rather urgent. The authors provide a review and a detailed analysis of some methods and ways to increase the performance of pile pressing units. In particular, there are considered methods based on executing special technologies according to a certain sequence of sheet piling operations, as well as ways to increase the machines performance with the help of additional equipment. Special attention is paid to mechanisms comprising different anchoring systems and extra counterweight. The authors give some examples of pile pressing units that meet the requirements of high productivity, speed and efficiency under different soil and climate conditions and can be used during pile-driving works on construction sites. The pile pressing equipment structure, its operation principles and fields of application are described in the course of this study. The conclusions on the development prospects of pile pressing machines and increasing pile pressing efficiency are made. The study also reveals the most perspective systems and methods that meet the requirements of modern construction technologies.

Keywords: machines, equipment, pile pressing unit, pile pressing method, pile installation, anchoring system, pile pressing efficiency, counterweight.

1. Введение. Постановка задачи исследования

В современном мире возникает потребность не только в строительстве многоэтажного элитного жилья, но и в реконструкции существующих строительных объектов. В связи с высоким уровнем урбанизации увеличивается число зданий и сооружений, особенно в центральных районах городов. Следовательно, приходится решать вопросы, связанные с необходимостью устройства свайного фундамента в условиях плотной застройки города. А также возникает необходимость в реконструкции и создании новых технологий для возведения фундаментов в местах примыкания к существующим постройкам. Свайный фундамент набирает популярность благодаря хорошей возможности укреплять грунты. Используя именно свайный фундамент можно добиться большой этажности постройки [1].

Методы погружения свай, применяемые в наше время - ударный, виброударный, вибрационный - не допускаются к использованию ввиду существования динамических влияний на близлежащие постройки, а так же наличия шумовых и загрязняющих воздействий на экологическую обстановку города. В условиях плотной городской застройки безопасность устройства свайного фундамента может быть достигнута путем применения метода статического вдавливания, гарантирующего целостность монтируемых и рядом расположенных опор, обеспечивает сохранность рядом стоящих зданий.

В начале 60-х прошлого века впервые в Омске начал применяться метод статического вдавливания свай [2]. В 1960 г. конструкторское бюро треста «Строймеханизация №2» (г. Екатеринбург) разработало и изготовило первую сваевдавляющую установку на рельсовом ходу. Система вдавливания представляла собой тросовый механизм. Далее в 1961 г. были разработаны два агрегата на гусеничном ходу, на базе экскаватора Э - 784. В 1966 г. была изготовлена установка на рельсовом ходу с движущимся мостом длиной 18 м и башенным краном СБК-1. Усилие вдавливания составляло до 800 кН. Производительность сваевдавляющей установки: 15-20 свай в смену, в зависимости от типа грунта и длины свай. В середине 80-х Трестом 28 Главленинградстроя (сегодня ЗАО «Строительный трест № 28», г. Санкт-Петербург) было начато использование установки УСВ-120 на базе экскаватора ЭО-6122. В 2001 г. была спроектирована установка УСВ-160, усилие вдавливания которой

составляло до 1600 кН. С 1990-х годов компанией ООО «Урал - Трейд» в Перми начали проводиться работы по устройству свайного фундамента, с использованием сваевдавливающей установки СВУ Titan DTZ 360. На данный период эта установка считается самой мощной на Российском рынке. Опыт применения сваевдавливающих машин доказывает, что метод статического вдавливания – в наибольшей степени безопасный для существующей застройки [3].

Анализ современного рынка строительных технологий показал, что метод вдавливания свай эффективно применяется в настоящее время и имеет высокий потенциал развития и использования в будущем. А развитие сваевдавливающего оборудования свидетельствует о совершенствовании его технических характеристик и конструкций. В строительной практике постепенно отсеиваются малоэффективные технические решения и заменяются более экономичными, производительными и экологичными машинами [4].

2. Основная часть

Главными комплексными показателями оборудования для погружения свай методом вдавливания являются – производительность, энергоемкость, усилие вдавливания, экономичность. К показателями качества относятся такие как универсальность, автоматизация процессов управления, экологичность, приспособленность к разным климатическим условиям и др. [5].

Для проведения работ по вдавливанию свай необходимо определить технологические параметры сваевдавливающего оборудования. Основные параметры вдавливания, такие как: скорость погружения сваи, усилие вдавливания, глубина погружения назначаются исходя из условия

$$P_{св} > P_{св} > P_{гр} , \quad (1)$$

где $P_{св}$ – допускаемое сжимающее усилие на сваю, которое определяется из условия прочности материала, из которого изготовлен ствол сваи, кН;

$P_{св}$ – определяется по СНиП 2.03.01-84;

$P_{гр}$ – максимальное сопротивление грунта погружению сваи, кН.

Сопротивление грунтов вдавливанию свай необходимо определить на стадии проектирования по формуле:

$$P_{гр} = g_k \times R \times A + u \times \sum g_f \times f_i \times H_i , \quad (2)$$

где g_k , g_f – коэффициенты, учитывающие изменения сопротивления грунта под подошвой и у боковой поверхности сваи соответственно, зависят от вида грунта;

R – расчетное сопротивление грунта у нижнего конца сваи, принимается по СНиП 2.02.03-85;

A – площадь поперечного сечения сваи, м²;

u – периметр сваи, м;

H_i – толщина i -ого слоя грунта, м;

f_i – расчетное сопротивление i -ого слоя грунта, принимается по СНиП 2.02.03-85, кПа.

С течением времени происходит накопление научных инноваций, следовательно, происходят изменения в технических характеристиках машин. Анализ развития оборудования для погружения свай методом вдавливания дает возможность выбрать наиболее перспективные направления разработок, установить влияние изменения конструкторских решений на производительность и технико-экономические показатели машин.

Вдавливание свай происходит по следующим этапам: погружение в рабочий орган сваи, установление сваи вертикально с помощью механизма зажима, погружение сваи на величину, равную ходу поршня гидродомкратов (примерно до 1м), разжим сваи,

поднятие штоков гидродомкратов. Далее происходит зажимание сваи и цикл повторяется до того, как свая достигнет проектную глубину. Не всегда вдавливание свай производить легко. В различных типах грунтов следует работать и производить вдавливание разными методами. При этом необходимо стремиться к повышению эффективности вдавливания. Примером повышения эффективности могут служить различные методы вдавливания и специальные установки [6].

Увеличение эффективности погружения свай вдавливанием являются математические зависимости, рассмотренные в изобретении [7]. Данный способ описывает технологию повышения эффективности вдавливания свай в слой плотного грунта. Чтобы увеличить производительность вдавливания свай, увеличивают усилие вдавливания сваевдавливательной машины и уменьшают скорость погружения.

Данная технология погружения свай пояснена на рис. 1, где представлены графические зависимости различных параметров, зависящих от глубины вдавливания свай. Производство метода состоит из нескольких этапов: с помощью установки для вдавливания свай 1 производят непосредственно погружение свай 2 в грунт. При вдавливании постепенно уменьшают скорость погружения свай, доводя ее до минимального значения. При этом лобовое сопротивление увеличивают, как описано ранее.

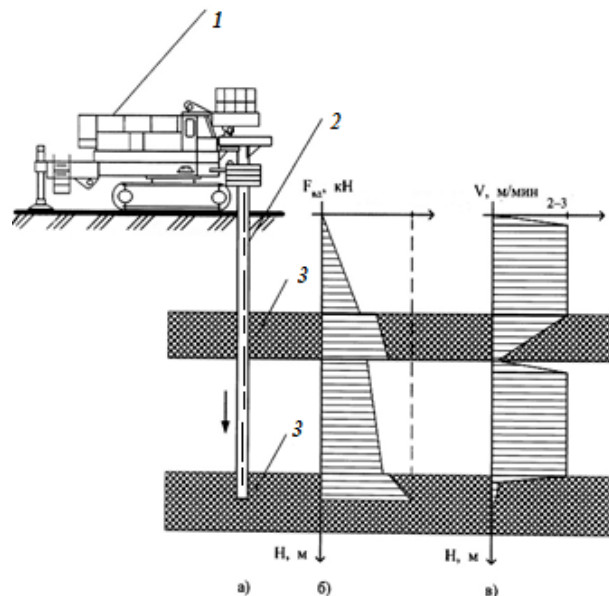


Рис.1. Метод погружения свай;

а – прохождение свай через плотные слои грунта; *1* – сваевдавливательный агрегат; *2* – свая; *3* – слой плотного грунта; *б* – изменение усилия вдавливания от глубины погружения свай; $F_{сд}$ – усилие вдавливания; H – глубина погружения; *в* – изменение скорости вдавливания от глубины погружения свай; V – скорость вдавливания.

Усилие вдавливание будет составлять сумму лобового и бокового сопротивления свай.

Скорость вдавливания должна иметь минимальное значение. Определить ее можно из следующего выражения:

$$V = \frac{(F_{сд} - F_d)}{F_d \times n}, \quad (3)$$

где V – скорость вдавливания, м/мин;

$F_{сд}$ – усилие вдавливания, кН;

F_d – несущая способность свай, кН;

n – коэффициент, определяемый опытным путем (равный 0,4 - 0,9).

Выполнение данных операций позволяет погружать сваю в слой плотного грунта, при этом снижать его вязкое сопротивление, так как сопротивление грунта возрастает с

ростом скорости погружения сваи. При этом необходимо на каждой площадке определить инженерно - геологические условия, плотность грунта.

Усилие вдавливания можно определить из следующей математической зависимости:

$$F_{\text{сд}} = (R + V \times n \times R) \times A + (f + V \times n \times f) \times \Omega, \quad (4)$$

где R, f - удельное сопротивление грунта (под нижним торцом сваи и по боковой поверхности сваи соответственно), кН/м^2 ;

V - скорость вдавливания, м/мин ;

n - коэффициент, определяемый опытным путем (равный 0,4 - 0,9);

A - площадь поперечного сечения сваи, м^2 ;

Ω - площадь боковой поверхности сваи, м^2 . Выражение (4) можно записать в виде:

$$F_{\text{сд}} = F_{\text{д}} + F_{\text{д}} \times n \times V \quad (5)$$

Для правильного вдавливания сваи на основании графических зависимостей, учитывающих напластование плотных слоев грунта, машинист сваевдавливающего агрегата изменяет усилие вдавливания и скорость погружения по ранее описанной технологии.

Данный метод позволяет производить вдавливание в грунт с плотными прослойками более эффективно. При максимальной силе вдавливания и минимальной скорости погружения сваи в грунт будет более точным. Недостатками может служить большое время работы сваевдавливающего оборудования.

Похожая технология погружения сваи в грунт, содержащий плотные напластования, описана в патенте [8]. Погружение сваи 2 методом вдавливания производится с помощью сваевдавливающей машины 1 (рис.2).

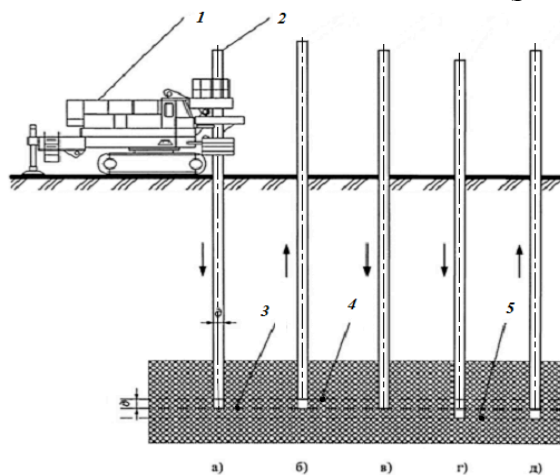


Рис.2. Метод погружения сваи;

a – этап остановки сваи, когда сопротивление одной из прослойки плотного грунта будет больше, чем максимальное значение вдавливания; b – извлечение сваи на величину δ (величина δ равна длине ее стороны); c – опускание сваи на ту же величину δ при наименьшем усилии вдавливания; d – погружение сваи на шаг, принятый технологическим циклом, усилие вдавливания при этом наибольшее; e – извлечение сваи на величину δ .

После достижения уровня 3, где сопротивление погружению будет превышать наибольшее усилие вдавливания, погружение сваи будет остановлено. Это происходит за счет уменьшения усилия вдавливания до нуля. Далее сваю извлекают из грунта до уровня 4 на величину δ . Данная величина равняется длине стороны сваи. Затем сваю снова вдавливают до уровня 3 при минимальном усилии вдавливания

сваевдавливательной машины. После погружения снова происходит увеличение усилия вдавливания до максимального значения. Снова производят погружение сваи до уровня 5. (на принятый шаг вдавливания). Данный цикл погружения может повторяться несколько раз, пока не будет достигнута глубинная проектная отметка.

Обе технологии направлены на повышение эффективности и надежности вдавливания сваи в слой плотного грунта. Они могут, как дополнять друг друга, так и применяться отдельно. При этом в обоих случаях к составу вдавливающей машины может применяться дополнительное оборудование, которое будет снижать сопротивление погружению сваи в грунт. Повышение производительности сваевдавливательной машины и увеличение эффективности вдавливания сваи происходит за счет увеличения усилия вдавливания и уменьшения скорости погружения сваи, либо их попеременного чередования.

Увеличить эффективность погружения свай можно не только, выполняя какую-либо методику погружения элементов в грунт, но и при помощи использования специального дополнительного оборудования к базовой машине. А так же машин, имеющих в своем составе особое оснащение в виде системы анкеровки.

Один из способов увеличения эффективности погружения свай вдавливанием, с использованием дополнительного оборудования в виде анкерного приспособления, рассмотрен в патенте [9]. Сущность изобретения заключается в следующем: повышение эффективности вдавливания для погружения свай большой несущей способности происходит за счет увеличения силы вдавливания. Данная цель достигается с помощью использования в составе машины дополнительного оборудования в виде анкера. Состав такой машины представлен на рис. 3.

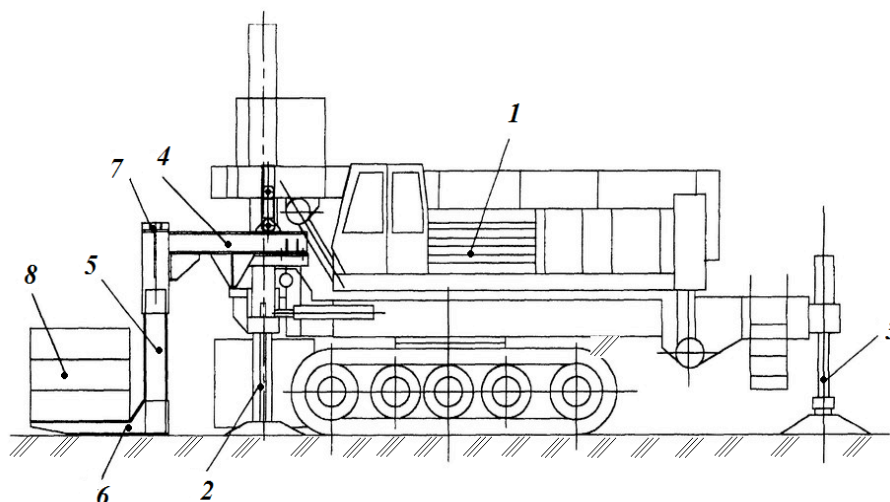


Рис.3. Общий вид сваевдавливательной машины;

1 – базовая машина; 2 – передние выносные опоры (передние аутригеры); 3 – задние выносные опоры (задние аутригеры); 4 – горизонтальная опорная балка; 5 – вертикальная балка (тяговый элемент); 6 – кронштейны; 7 – закладные детали; 8 – дополнительный пригруз.

Само анкерное приспособление представляет собой совокупность горизонтальных (опорных) и вертикальных балок. Вертикальные балки (тяговые элементы) связаны с кронштейнами, а так же с горизонтальными балками с помощью закладных деталей. Вертикальная балка имеет возможность перемещаться вертикально относительно горизонтальной. Кронштейны снабжены дополнительным пригрузом. Это позволит значительно увеличить усилие вдавливания машины. Анкер закреплен на передних аутригерах, что позволяет передавать силовую нагрузку на раму, не захватывая ходовую часть машины.

Грузы 8 опираются на грунт перед началом погружения сваи. При этом они не влияют на ходовую часть оборудования. Если вес оборудования будет меньше сопротивления вдавливания сваи, машина будет подниматься над землей и опираться на сваю. Рама будет воспринимать усилия от дополнительного пригруза, это приведет к увеличению усилия вдавливания и повышению эффективности погружения сваи в грунт.

Достоинством такой машины является то, что данное анкерное приспособление возможно устраивать почти на любом типе вдавливающих машин. А так же относительно несложный состав машины, возможность использования такой машины во всех типах грунтов. Недостатками данного агрегата являются большие габариты.

Устройство анкерного приспособления позволяет увеличить силу вдавливания и как следствие эффективность погружения сваи в грунт. Использование пригруза в составе анкерного приспособления позволяет поддерживать усилие вдавливания на протяжении долгого времени.

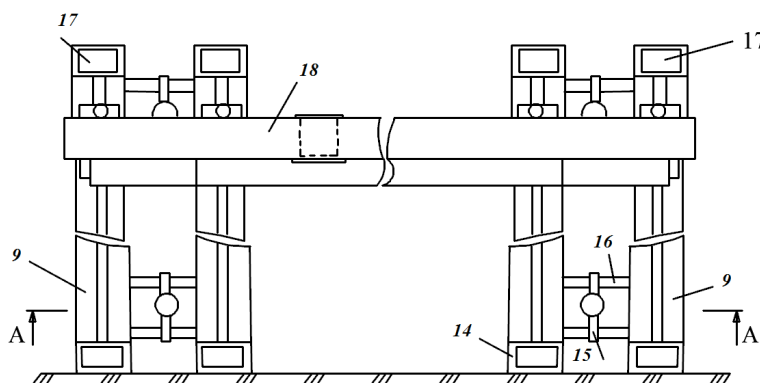
Анкерное устройство используется в патенте [10]. Данное оборудование используют при создании свайного поля под здания и сооружения различного назначения, а так же вдавливания таких строительных конструкций как, например, шпунты. За основу взято изобретение № 2-3853, Япония. Это устройство содержит анкерное устройство и вдавливающие элементы. Анкер состоит из двух продольных балок. Механизм вдавливания передает усилие на боковые поверхности конструкции, что может привести к ее разрушению.

Большая сила вдавливания приводит к увеличению возникающей реактивной силы. Следовательно, данное устройство следует дополнить более совершенной системой анкеров.

Таким образом, данное изобретение направлено на повышение силы вдавливания за счет введения дополнительной анкерной системы.

На рис. 4 показан внешний вид устройства. Анкер данного устройства содержит рельсы 3, выполненные из двутаврового профиля. Количество рельсов рассчитывается из размеров строительной площадки. Система вдавливания представлена вертикальными опорами 1, которые перемещаются только в продольном направлении и механизмов погружения сваи 7. Механизм вдавливания размещен на элементе 18. Упоры 11 закреплены на верхней части рельсов. Винты 4 соединяют упоры 9 и вертикальные опоры 1. 12 и 13 – это консольные элементы, из которых состоит каждый упор 11. Гайка 2 надевается на верхний конец винта 4. Между собой рельсы 3 скрепляются поперечными устройствами 16, в виде пластин из металла. Вместо металлических пластин возможно применение пластин с отверстиями под грунтовый анкер 5. поперечные элементы 16 соединены консолями 15.

Количество грунтовых анкеров зависит от усилия вдавливания и должно вычисляться с помощью специальных экспериментов и математических вычислений.



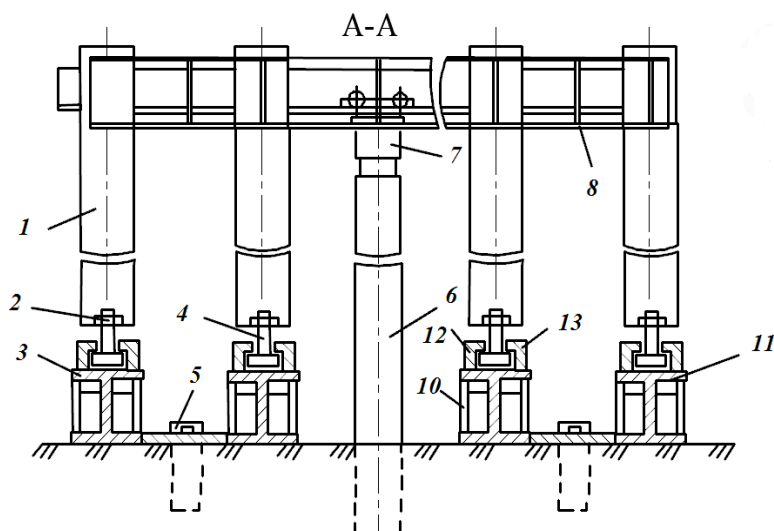


Рис.4. Внешний вид устройства;

1 – вертикальная опора; 2 – гайка; 3 – рельсы; 4 – винты; 5 – грунтовый анкер; 6 – погружаемая в грунт конструкция; 7 – механизм погружения; 8 – площадка обслуживания; 9 – упор; 10 – выступы; 11 – упор; 12 и 13 – консольные элементы, входящие в состав упора 11; 14 – кронштейны; 15 – консоли, соединяющие поперечные элементы; 16 – поперечные элементы; 17 – балласт; 18 – поперечный элемент, где размещается вдавливаемая конструкция.

Упоры 11 размещены на рельсах 3, на них крепятся кронштейны 14. На кронштейнах размещаются балласты 17. В состав кронштейнов входят выступы 10, для прочного соединения кронштейна и рельса. 8 – площадка наблюдения и обслуживания, оборудуется перилами для безопасного нахождения на ней рабочих. Вся конструкция собирается, при этом заканчивается анкеровка устройства вдавливания.

Перемещение опор по рельсам происходит до того момента, пока поперечный элемент 18 не совпадет с вдавливаемой конструкцией. Гидроцилиндры устанавливаются над конструкцией, при этом должен осуществляться постоянный контроль. Штоки гидроцилиндра опускают на вдавливаемую конструкцию 6. Нагрузку воспринимает оголовок сваи, тем самым не происходит разрушения. При этом реактивная сила, возникающая в свае, будет восприниматься опорами 1 и через винты 4 передаваться на рельсы, а также на грунтовый анкер и балласт. Цикл погружения, т.е. перестановка ниже элемента 18 и гидроцилиндра повторяют до погружения конструкцию на нужную глубину.

Таким образом, данный вид производства работ, осуществляемый с помощью такой системы анкеровки, позволяет принимать силу вдавливания до 200 тонн. А так же, сравнивая с японским изобретением N 2-3853, сила вдавливания будет прикладываться вверх вдавливаемого элемента, а не сбоку, что не приведет к сколам и разрушению вдавливаемой конструкции. Такая анкерная система позволяет увеличивать силу вдавливания. При этом не возникает разрушение и повреждение строительных конструкций. Недостатком данной системы является сложный механизм сборки, а так же невозможность использования его во всех типах грунтов, из-за относительно большого веса конструкции.

В соответствии с изобретением [11] установление самого прибора производят укладыванием двух долевых компонентов с упорами в зоне погружения. В продольные элементы вставляют элементы соединения, размещают на них опоры, используя специальные элементы соединения. Опоры плотно крепят между собой. Механизм вдавливания перемещается по силовой конструкции, опоры перемещаются по продольным механизмам. Существенным недостатком устройства по патенту [11]

является большая сложность работы в плотной застройке, которая обусловлена необходимостью прокладки длинных рельсов. Кроме того, устройство достаточно сложное в монтаже, использовании и эксплуатации. Следовательно, изменение способа установления механизма вдавливания и системы анкеровки приведет к большей эффективности работ по вдавливанию свай.

Примером такого оборудования может служить изобретение – патент [12]. Данный агрегат имеет другую систему перемещения устройства. Оно имеет цель повышения эффективности вдавливания свай, а так же имеет возможность работы в стесненных условиях по реконструкции существующих свайных фундаментов.

Устройство для вдавливания свай имеет систему анкерov и механизм вдавливания. Существенным отличием является то, что система анкерovки опирается на одну из несущих колонн здания или сооружения. Два вдавливаемых элемента устанавливаются симметрично опоре. Вдавливание свай в грунт производят одновременно. В ходе вдавливания реализовывают непрерывный контроль величины погружения свай, и в случае надобности производят их корректировку. На рис. 5 показан фундамент здания (сооружения) и общий вид установки.

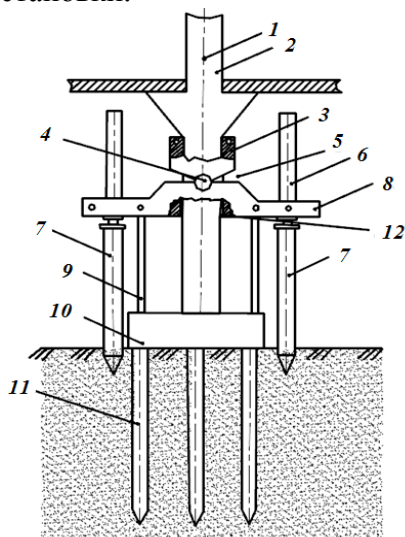


Рис.5. Общий вид вдавливающей установки;

- 1 – центральная ось устройства; 2 – несущая колонна; 3 – упор; 4 – шарнир; 5 – зазор; 6 – домкрат;
7 – вдавливаемый элемент; 8 – коромысло (механизм вдавливания); 9 – деревянный брус;
10 – ростверк; 11 – сваи висячие; 12 – зазор.

Висячие сваи 11 объединены ростверком 10, на который установлена основная несущая колонна 2. Принцип действия устройства осуществляется следующим образом: на несущую колонну 2 крепится упор 3, который состоит из двух частей, соединенных между собой. Обе части плотно прилегают к несущей колонне. Механизм вдавливания данного агрегата состоит из так называемого коромысла 8, крепящегося шарнирами 4 к упору 3. Крепят так, чтобы оставались наклонные зазоры 5 и 12 между колонной и упором. На висячие элементы коромысла крепят домкраты 6, под которые и устанавливают вертикально вдавливаемые элементы, в виде труб или свай 7. Силы вдавливания каждого элемента должны быть равны, для того, чтобы не перекашивался механизм коромысла. Оставшиеся зазоры 5 и 12 в случае неравенства усилий вдавливания одного из элемента 7 приведут к своевременной корректировке усилий, и не допустят поворота коромысла относительно оси 1. Возможность появления вращающегося момента компенсируют дополнительными брусками 9, выполненными из дерева, которые опираются на ростверк и коромысло. После достижения вдавливаемыми конструкциями заданной отметки, домкраты поднимаются на исходную высоту. Бруска будут поддерживать коромысло в исходном положении на

заданной высоте, и как следствие дадут возможность увеличивать отрезки вдавливаемых компонентов. Весь процесс повторяется нужное количество раз.

Данный способ вдавливания имеет преимущества относительно других установок. Использование такого механизма возможно в стесненных условиях, что очень необходимо в условиях плотной городской застройки. А так же возможно использование данного агрегата при усилении фундаментов сооружений, после их многолетней эксплуатации. Погружение в грунт сразу двух элементов повышает эффективность работы установки примерно в два раза.

Использование сваевдавливающей машины имеющий в своем составе вакуумный анкер, для восприятия реакции сваи наблюдается в установке СВО-В-1 [13]. Это навесное оборудование, крепящееся на краны вида МКГ - 25 и РДК – 25 (табл.1).

Таблица 1

Техническая характеристика оборудования СВО-В-1

Характеристика машины	Численное значение
Наибольшее усилие вдавливания, кН	900
Скорость вдавливания свай, м/мин	2,0...2,5
Наибольшая длина цельных погружаемых свай, м	16
Сечение погружаемых свай, м	0,3×0,3
Габаритные размеры, м:	
Длина	12,5
Ширина	2,5
Высота	22,0
Масса навесного оборудования, т	22,5
Наименьшее расстояние от оси погружаемых свай до стены существующего здания, м	0,6

Данный агрегат представляет собой поворотную на 360° сваевдавливающую машину. Сваевдавливающий агрегат с навесным оборудованием СВО-В-1 (рис. 6) состоит из следующих элементов. Основная базовая машина – на ней размещены основные механизмы установки.

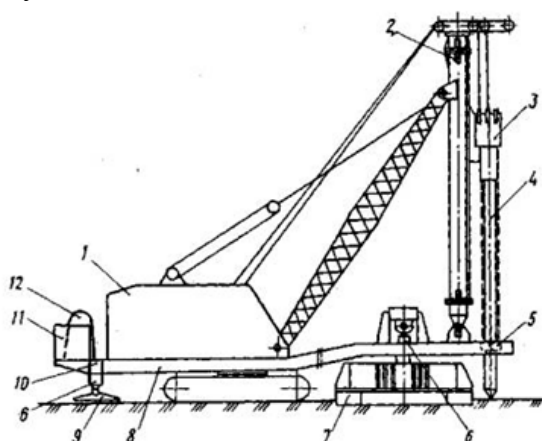


Рис.6. Схема сваевдавливающей установки СВО-В-1;

- 1 – базовая машина; 2 - копровая мачта; 3 - наголовок с блоком полиспастов; 4 – вдавливаемая свая;
5 - блок неподвижной части полиспаста; 6 - гидроцилиндр; 7 – анкер вакуумный; 8 - упорная рама;
9 - опорная плита; 10 - опорная балка с площадкой; 11 - гидравлическая станция; 12 - вакуумный насос.

На базовой машине подвешена упорная рама. Копровая мачта соединяется с рамой. На раме монтируют вакуумный анкер, используя два гидроцилиндра. Вакуумный анкер соединен с вакуумным насосом с помощью всасывающих шлангов. Неподвижные блоки располагаются в передней части упорной рамы. Подвижные блоки всей полиспастной системы расположены на специальном наголовнике. Сам наголовник подвешен на копровой стойке. Гидростанция и опорные плиты размещаются на опорной балке.

Вакуумный анкер – это специальная сварная металлическая камера прямоугольной формы, внизу наружной части которой находится специальный защитный фартук. Крышка камеры представляет собой подвижную диафрагму, которая плотно соединяется со стенками самой камеры с помощью резиновой ткани. На диафрагме располагается шарнирный механизм из четырех звеньев.

Установка СВО-В-1 работает следующим образом. Гидроцилиндры опускают вакуумный анкер и опорные плиты на поверхность грунта. Под наголовник (рабочий орган) устанавливается свая. Далее включается вакуумный насос. Он откачивает воздух из камеры анкера. При этом насос создает усилие, и диафрагма анкера плотно прижимается к грунту. При включении в работу лебедки крана усилие от ее каната передается через полиспасты на оголовок сваи. Далее подвижная обойма полиспаста вдавлиывает сваю. Реактивные усилия при работе передаются через неподвижные блоки полиспаста, упорную раму и гидроцилиндры на диафрагму вакуумного анкера. Упорная рама работает в виде рычага. Точкой опоры рычага выступают опорные плиты (рис.7).

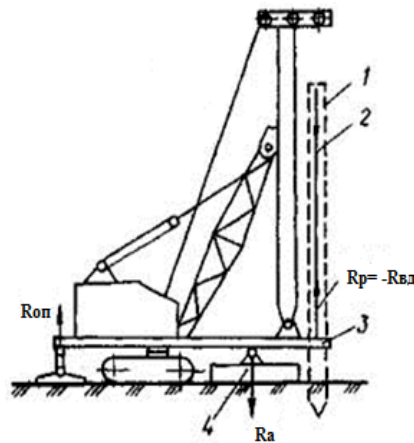


Рис.7. Схема распределения усилий при погружении свай агрегатом с навесным оборудованием; 1 - свая; 2 - канаты полиспаста; 3 - упорная рама; 4 - вакуумный анкер; $P_{вд}$ - вдавливающее усилие, передаваемое на голову сваи через наголовник от подвижного блока полиспаста; R_p - реактивное усилие, передаваемое на раму через канаты полиспаста; R_a - реакция в раме от анкера; $R_{оп}$ - реакция в раме от опорных плит.

Для исключения выпирания грунта под плитой анкерного устройства необходимо руководствоваться следующим условием: промежуток от отметки дна котлована до УГВ (уровня грунтовых вод) не должен превышать:

$$h_{\varepsilon} \geq \frac{0,01 \times n \times P_{атм} - P_{вак} - \bar{b}}{\gamma}, \quad (6)$$

где n - пористость грунта;

$P_{атм}$ - атмосферное давление, Па;

$P_{вак}$ - давление в вакуумной камере, Па;

\bar{b} - удельное сцепление грунта, Па;

g - удельный вес грунта, Н/м³.

Время полного цикла погружения одной сваи сваевдавливающими машинами с вакуумным анкером, мин:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (7)$$

где t_1 – время перемещения машины, наводка на точку погружения сваи;

t_2 – время подъема сваи;

t_3 – время установки сваи на место погружения;

t_4 – время понижения опорных плит и анкера, начало включения в работу вакуумного анкера;

t_5 – время на вдавливание сваи в грунт;

t_6 – время на поднятие анкера и опорных плит.

Таким образом, использование вакуумного анкерного приспособления позволяет передать усилие реакции сваи на конструкцию анкера, а так же увеличить силу вдавливания. Преимуществом такой установки является необходимость небольших размеров строительной площадки для работы данного оборудования, простота использования и эксплуатации. Однако минусом таких установок является увеличение времени на погружения сваи. Следовательно, наиболее эффективными будут являться машины, в которых реактивные усилия будут восприниматься весом самой машины и дополнительными пригрузами. Примером такого высказывания может служить патент [14]. Сваевдавливательный агрегат состоит из: ходовой части 7 и поворотной части 11. На раме 11 смонтирована передняя 10 и задняя рама 12. Копровая мачта 5 установлена на раме 10, а так же оборудован погружатель 2, система вдавливания 3, состоящая из тросов и блоков. Так же на передней раме установлен пригруз 4. По краям установки размещены аутригеры (гидроопоры) 6. Плита 9 размещена на ходовой части 7. Плита перемещается вдоль ходовой части, с помощью балок 8. Стойки 10 помогают соединить балки 8 с плитой 9. Поднятие сваи осуществляется с помощью троса 1 (рис. 8).

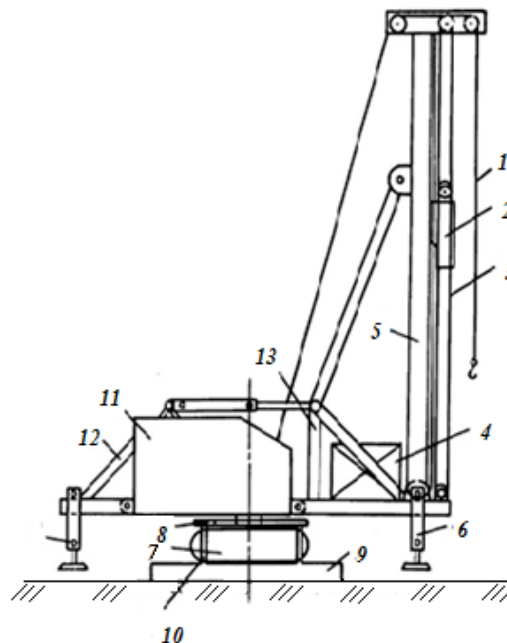


Рис.8. Общий вид сваевдавливательной машины;

1 - трос; 2 – погружатель; 3 – механизм вдавливания; 4 - пригруз; 5 – копровая мачта; 6 - аутригеры; 7 – ходовая часть; 8 - балка; 9 – опорная плита; 10 - стойка; 11 - рама; 12 – задняя рама; 13 – передняя рама.

Большое влияние в данной установке имеют размеры плиты. Они должны обеспечивать устойчивость установки и удовлетворять условиям и:

$$a > \frac{2(m \times Q_{общ} + Q_{пр} \times l_{пр} + Q_{зр} \times l_{зр} + Q_{св} \times l_{св} - Q_n \times l_n - Q_{зр} \times l_{зр})}{Q_{общ} + Q_m}, \quad (8)$$

$$b \geq a - 2m, \quad (9)$$

где a и b – размеры плиты, длина и ширина, м;

$Q_{пр}$ – вес передней рамы, копровой мачты, погрузателя, кН;

$Q_{зр}$ – вес пригруза, кН;

Q_n – вес поворотной части, кН;

$Q_{св}$ – вес сваи, кН;

$Q_{зр}$ – вес задней рамы, кН;

$l_{пр}$ – расстояние от оси поворота крана до центра тяжести передней рамы с копровой мачтой и погрузателем, м;

$l_{зр}$ – то же до пригруза, м;

$l_{св}$ – то же до сваи, м;

l_n – то же до поворотной части машины, м;

$l_{зр}$ – то же до задней рамы, м;

$Q_{общ}$ – вес установки, не включая вес плиты, кН;

$Q_{пл}$ – вес жесткой плиты, кН;

m – допустимое значение отклонения центра плиты от оси поворотной части крана, м.

Данные условия должны выполняться в случае, если работы ведутся на строительной площадке с твердым покрытием. При назначении размеров плиты, использование которой будет производиться на грунтовом основании должны выполняться условие:

$$\frac{(Q_{общ} + Q_{пл}) \times b + 6(Q_{пр} \times l_{пр} + Q_{зр} \times l_{зр} \times Q_{св} \times l_{св} - Q_n \times l_n - Q_{зр} \times l_{зр})}{a \times b^2} < R, \quad (10)$$

где R – расчетное давление на грунт, кН/м².

Принцип действия данной установки достаточно прост. Машина перемещается на точку вдавливания очередной сваи. Гидроопоры 9 поднимают машину на некоторое расстояние от грунта, для того чтобы плита 10 не соприкасалась с землей. Ходовая часть 1 поворачивается, устанавливается направление движения установки. Плита 10 перемещается параллельно ходовой части с помощью гусениц. Далее поднимаются гидроопоры, установка перемещается по плите 10. Погрузатель 6 устанавливается над точкой вдавливания сваи. Трос 13 поднимает сваю на определенную высоту. Опускаются гидроопоры, начинает работать система полиспастов 7 и происходит погружение сваи. На протяжении всей работы погружению сваи способствует движение поворотной части 2 машины и размещенных на ней передней 4 и задней 3 рам.

Таким образом, закрепление плиты на ходовой части крана, установка плиты при поднятых гидроопорах, перемещение плиты – эти возможности позволяют увеличить производительность машины, повысить устойчивость и маневренность установки. Использование дополнительного оборудования в виде опорной жесткой плиты позволяет увеличить усилие вдавливания, повысить проходимость машины в слабых грунтовых условиях и как следствие повысить эффективность работ по вдавливанию свай.

3. Заключение

Завершая обзор современного сваевдавляющего оборудования можно сделать следующие выводы:

1. Оборудование для погружения свай вдавливанием имеет следующие достоинства: отсутствие шума и вибраций в процессе вдавливания, отсутствие ударных нагрузок на грунты и рядом существующую застройку, небольшие требования к первоначальному устройству строительной площадки, исключение неравномерных осадок и трещин в структуре грунта, высокая точность погружения свай, возможность контроля несущей способности погружаемой сваи;

2. Повысить эффективность работ по вдавливанию свай возможно двумя способами: с помощью специального оборудования, оснащенного дополнительными механизмами, либо выполнением специальных методик и последовательностей операций. Выбор метода должен осуществляться исходя из условий строительной площадки, региона строительства, экономичности работ и др. условий.

3. Учитывая инженерно – геологические условия строительной площадки, на которой ведутся работы, целесообразно использовать в качестве вдавливающего устройства гидравлический механизм, который будет обеспечивать возможность регулирования скорости погружения и усилия вдавливания.

4. Для повышения эффективности и недопустимости возникновения высокого удельного давления на грунт сваевдавляющих машин необходимо использовать различные виды анкерных систем.

5. Оснащение вдавливающих агрегатов дополнительным вспомогательным оборудованием или выполнение специальной методики погружения вдавливаемых элементов существенно повышает технологические возможности машины, особенно при работе в плотных грунтах.

6. Наиболее современным и эффективным устройством для реконструкции свайных фундаментов является устройство, опирающееся непосредственно на колонны существующего здания, и погружающее сразу две сваи в грунт, что немаловажно в условиях плотной застройки.

7. Использование дополнительных пригрузов позволяет увеличить силу вдавливания конструкций в грунт и эффективность свайных работ.

Библиографический список

1. Пономаренко Ю.Е., Нестеров А.С. Современное оборудование для погружения свай методом вдавливания // Строительные и дорожные машины. 2009. №7. С. 22-26.

2. Пономаренко Ю.Е., Нестеров А.С. Опыт применения оборудования для погружения свай вдавливанием в г. Омске. // Омский научный вестник. 2009. №3. С. 145-148.

3. Пономаренко Ю.Е., Нестеров А.С., Ступаченко Е.В. Тенденции развития оборудования для погружения свай методом вдавливания // Строительные и дорожные машины. 2011. №5. С. 22-28.

4. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии: учеб. пособие. М.: 2-е изд. перераб. и доп. АСВ. 2010. С. 240.

5. Фрейдман Б.Г. Перспективы развития метода вдавливания свай // геотехника: актуальные теоретические и практические проблемы / Межвуз. теор. сб. тр. СПбГАСУ. 2006. С. 174-176.

6. Нестеров А.С. Способы снижения энергоемкости погружения свай вдавливанием // Строительство и архитектура. 2013. № . С. 203-208.

7. Способ погружения свай вдавливанием: пат. 2500857 Рос. Федерация/ В.В. Верстов, А.Н. Гайдо. № E02D7/20; заявл. 11.07.12; опубл. 10.12.13. Бюл. № 34 (C1) - 7 с.
8. Способ погружения свай вдавливанием: пат. 2498017 Рос. Федерация/ В.В. Верстов, А.Н. Гайдо, Я.В. Иванов. № E02D7/20; заявл. 20.04.12; опубл. 10.11.13. Бюл. № 31 (C1) - 6 с.
9. Установка для погружения свай в грунт вдавливанием: пат. 2178040 Рос. Федерация/ Б.Г. Фрейдман, М.В. Тютюнник, Е.П. Гинзбург. № E02D7/20; заявл. 29.01.01; опубл. 10.01.02. Бюл. № 1 (C1) - 5 с.
10. Установка для вдавливания строительных конструкций: пат. 2159830 Украина/ Б.З. Кашка. № E02D7/20; заявл. 05.01.99; опубл. 27.11.00. Бюл. № 33 (C1) - 6 с.
11. Устройство для вдавливания свай и/или других строительных конструкций и способ вдавливания с использованием этого устройства: пат. 2159829 Украина/ Б.З. Кашка № E02D7/20; заявл. 23.11.98; опубл. 27.11.00. Бюл. № 33 (C1) - 5 с.
12. Способ вдавливания свай и/или других строительных конструкций и устройство для его реализации: пат. 2534299 Рос. Федерация/ А.В. Лубягин, А.П. Бобряков. № E02D7/20; заявл. 23.05.13; опубл. 27.11.14. Бюл. № 33 (C1) - 7 с.
13. Светинский Е.В. Современное оборудование для вдавливания свай // Механизация строительства. 1997. №11. С. 12-16.
14. Установка для погружения свай вдавливанием: пат. 2106455 Украина/ С.В. Романов, Ю.Н. Глущенко, И.С. Романов, Г.Я. Яременко. № E02D7/20; заявл. 21.09.95; опубл. 10.03.98. Бюл. № 7 (C1) - 6 с.

References

1. Ponomarenko Iu.E., Nesterov A.S. Sovremennoe oborudovanie dlia pogruzheniia svai metodom vdavlivaniia [Modern equipment for immersion piles indentation]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2009. №7. S. 22-26.
2. Ponomarenko Iu.E., Nesterov A.S. Opyt primeneniia oborudovaniia dlia pogruzheniia svai vdavlivaniem v Omske [Experience with the use of equipment for immersion piles indentation in Omsk]. Omskii nauchnyi vestnik. 2009. №3. S. 145-148.
3. Ponomarenko Iu.E., Nesterov A.S., Stupachenko E.V. Tendentsii razvitiia oborudovaniia dlia pogruzheniia svai metodom vdavlivaniia [Trends in the development of hardware for immersion piles indentation]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2011. №5. S. 22-28.
4. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. Sovremennye svainye tekhnologii: ucheb. Posobie [Modern pile technology: training manual]. M.: 2-e izd. pererab. i dop. ASV. 2010. S. 240.
5. Freidman B.G. Perspektivy razvitiia metoda vdavlivaniia svai // geotekhnika: aktual'nye teoreticheskie i prakticheskie problem [Prospects for the development of a method of pressing piles, geotechnical engineering: actual theoretical and practical problems]. Mezhdvuz. teor. sb. tr. SPbGASU. 2006. S. 174-176.
6. Nesterov A.S. Spособы snizheniia energoemkosti pogruzheniia svai vdavlivaniem [Ways of reducing the energy intensity of immersion piles indentation]. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2013. S. 203-208.
7. Spособ pogruzheniia svai vdavlivaniem: pat. 2500857 Ros. Federatsiia [The immersion piles indentation pat. 2500857 Russian Federation]. V.V. Verstov, A.N. Gaido. №E02D7/20; zaiavl. 11.07.12; opubl. 10.12.13. Biul. №34 (C1) – 7 s.
8. Spособ pogruzheniia svai vdavlivaniem: pat. 2498017 Ros. Federatsiia [The immersion piles indentation: pat. 2498017 Russian Federation]. V.V. Verstov, A.N. Gaido, Ia.V. Ivanov. №E02D7/20; zaiavl. 20.04.12; opubl. 10.11.13. Biul. №31 (C1) – 6 s.

9. Ustanovka dlia pogruzhennia svai v grunt vdavlivaniem: pat. 2178040 Ros. Federatsia [Installation for sinking piles into the ground by pressing: pat. 2178040 Russian. Federation]. B.G. Freidman, M.V. Tiutiunnik, E.P. Ginzburg. № E02D7/20; zaiavl. 20.01.01; opubl. 10.01.02. Biul. №1 (C1) – 5 s.

10. Ustanovka dlia vdavlivaniia stroitel'nykh konstruksii: pat. 2159830 Ukraina [Installation for pressing of building structures: pat. 2159830 Ukraine]. B.Z. Kashka. № E02D7/20; zaiavl. 05.01.99; opubl. 27.11.00. Biul. №33 (C1) – 6 s.

11. Ustroistvo dlia vdavlivaniia svai i/ili drugikh stroitel'nykh konstruksii i sposob vdavlivaniia s ispol'zovaniem etogo ustroistva: pat. 2159829 Ukraina [Device for pressing piles and/or other building structures and method of indentation using this device: pat. 2159829 Ukraine]. B.Z. Kashka. № E02D7/20; zaiavl. 23.11.98; opubl. 27.11.00. Biul. №33 (C1) – 5 s.

12. Sposob vdavlivaniia svai i/ili drugikh stroitel'nykh konstruksii i ustroistvo dlia ego realizatsii: pat. 2534299 Ros. Federatsiia [Method of pressing piles and/or other building structures and device for its implementation: us pat. 2534299 Russian. Federation] A.V. Lubiagin, A.P. Bobriakov. №E02D7/20; zaiavl. 23.05.13; opubl. 27.11.14. Biul. №33 (C1) – 7 s.

13. Svetinskii E.V. Sovremennoe oborudovanie dlia vdavlivaniia svai [Modern equipment for pressing piles]. Mekhanizatsiia stroitel'stva. 1997/ №11. S. 12-16.

14. Ustanovka dlia pogruzhennia svai vdavlivaniem: pat. 2106455 Ukraina [Installation for sinking piles indentation: pat. 2106455 Ukraine]. S.V. Romanov, Iu.N. Gluschenko, I.S. Romanov, G.Ia. Iaremenko. № E02D7/20; zaiavl. 21.09.95; opubl. 10.03.98. Biul. №7 (C1) – 6 s.

Об авторах

Судницына, Елизавета Сергеевна (Пермь, Россия) – студентка третьего курса строительного факультета, направление «Строительство» (270800), профиль «Городское строительство и хозяйство», ПНИПУ (614066, г. Пермь ул. 9 Мая, 15, e-mail: sudnitsyna2011@mail.ru).

Вахрушев Сергей Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (e-mail: spstf@pstu.ru).

About the authors:

Sudnitsyna Elizaveta Sergeevna (Perm, Russian Federation) – the third-year student of Civil Engineering Faculty, profile of Civil Engineering and Management, Perm National Research Polytechnic University (614066, Perm, 15, 9 Maia st., e-mail: sudnitsyna2011@mail.ru).

Vahrushev Sergey Ivanovich (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).