



ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Научная статья

УДК 627.142.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-4-133-144

Пенетрационная характеристика грунтозацепов мобильных лесосплавных опор

С.В. Посыпанов¹, *д-р техн. наук, проф.*; ResearcherID: [ABF-6542-2021](https://orcid.org/0000-0003-0600-7089),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-7089>

К.В. Козлов¹, *аспирант*; ResearcherID: [JFA-2045-2023](https://orcid.org/0009-0003-8892-5867),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8892-5867>

С.П. Карпачев², *д-р техн. наук, проф.*; ResearcherID: [AAH-8641-2019](https://orcid.org/0000-0001-8509-8956),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8509-8956>

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия; s.posypanov@narfu.ru, kozlovkonstantin94@gmail.com

²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия; karpachevs@mail.ru

Поступила в редакцию 19.10.25 / Одобрена после рецензирования 14.12.25 / Принята к печати 19.12.25

Аннотация. Мобильные наполняемые опоры для крепления лесосплавных объектов соответствуют требованиям, предъявляемым к устройствам, способствующим реализации концепции эффективной, экологически щадящей транспортировки лесоматериалов по малым и средним рекам. Надежная работа указанных опор предполагается при полном погружении вертикальных элементов грунтозацепов в грунт. Для обеспечения такого погружения необходима информация об усилиях, которые следует прилагать в этом случае. Цель исследования – обеспечение надежной работы мобильных наполняемых опор с грунтозацепами. Метод исследования – теоретико-экспериментальный. Получены аналитические зависимости для усилий вдавливания секций грунтозацепов. С их помощью установлены факторы, определяющие выходные величины, характер и степень влияния этих факторов. Выполнение расчетов по этим зависимостям не позволяет получить достоверные результаты, т. к. напряжения в грунте, возникающие под нижними краями и на боковых поверхностях грунтозацепов при рассматриваемых глубинах неизвестны. Установлено, что усилие, требуемое для вдавливания секции грунтозацепов в грунт, зависит от тех же характеристик грунта, что и количество ударов динамического плотномера для погружения его наконечника на требуемую глубину и удельное сопротивление пенетрации, измеряемое пенетрометром. При лабораторных экспериментах, базирующихся на выполненных теоретических исследованиях, убедились, что между 3 указанными величинами есть явно выраженная связь. С учетом этой связи проведены экспериментальные исследования в натурных условиях. Получены аппроксимирующие зависимости усилий для вдавливания рекомендованных секций грунтозацепов от среднего количества ударов динамического плотномера и удельного сопротивления пенетрации. Для ряда грунтов указаны значения рассматриваемых усилий с ориентацией на максимальные величины, зафиксированные при экспериментах.

Приведенные аппроксимирующие зависимости и значения усилий позволят наиболее эффективно решать вопросы, связанные с обеспечением погружения грунтозацепов в грунт и будут способствовать надежной работе рассматриваемых опор.

Ключевые слова: лесосплав, мобильная лесосплавная опора, грунтозацепы, усилие вдавливания, наплавные сооружения, крепление плотов

Для цитирования: Посыпанов С.В., Козлов К.В., Карпачев С.П. Пенетрационная характеристика грунтозацепов мобильных лесосплавных опор // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 4. С. 133–144. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-4-133-144>

Original article

Penetration Properties of Ground Lugs of Portable Supports for Timber Rafting

Sergey V. Posypanov¹✉, *Doctor of Engineering, Prof.*; ResearcherID: [ABF-6542-2021](https://orcid.org/0000-0003-0600-7089), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-7089>

Konstantin V. Kozlov¹, *Postgraduate Student*; ResearcherID: [JFA-2045-2023](https://orcid.org/0009-0003-8892-5867), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8892-5867>

Sergey P. Karpachev², *Doctor of Engineering, Prof.*; ResearcherID: [AAH-8641-2019](https://orcid.org/0000-0001-8509-8956), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8509-8956>

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia; s.posypanov@narfu.ru✉, kozlovkonstantin94@gmail.com

²Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia; karpachevs@mail.ru

Received on October 19, 2025 / Approved after reviewing on December 14, 2025 / Accepted on December 19, 2025

Abstract. Portable fillable supports for fastening timber rafting structures meet the requirements for devices that facilitate the implementation of a concept for the efficient and environmentally friendly transportation of timber along small and medium-sized rivers. Reliable operation of such supports is assumed when the vertical elements of the ground lugs are completely immersed into soil. In order to achieve this level of immersion, we need information about the effort required in this particular case. The research aims to ensure the reliable operation of portable fillable supports with ground lugs. We have used the theoretical and experimental research method. The results include analytical dependencies for the penetration forces of the ground lugs' sections. These factors allowed us to identify the variables that determine the output values, as well as the nature and extent of the factors' influence. Performing calculations based on these dependencies does not provide reliable results, since the ground stresses occurring beneath the lower edges and on the lateral surfaces of the ground lugs at the considered depths are unknown. We have found that the force required to drive the ground lug section into the soil depends on the same soil parameters as the number of blows required by the dynamic densimeter to drive its tip to the required depth and the specific penetration resistance measured by the penetrometer. Laboratory experiments, based on prior theoretical studies, confirmed that there is a clear relationship between the three parameters mentioned. In view of this relationship, experimental studies were carried out under field conditions. Approximate dependencies of the forces required to drive in the recommended sections of ground lugs were obtained based on the average number of blows from a dynamic densimeter

and the specific penetration resistance. The values of the considered forces for a number of soil types are given, based on the maximum values recorded during experiments. The approximate dependencies and force values provided here will enable the most effective resolution of issues related to ensuring the penetration of ground lugs into soil and will contribute to the reliable operation of the studied supports.

Keywords: timber rafting, portable timber rafting support, ground lugs, penetration force, floating structures, raft holding

For citation: Posypanov S.V., Kozlov K.V., Karpachev S.P. Penetration Properties of Ground Lugs of Portable Supports for Timber Rafting. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 4, pp. 133–144. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-4-133-144>

Введение

По мнению специалистов, проблема доставки древесного сырья из удаленных лесных массивов в наиболее крупных лесных регионах может быть решена посредством экологически щадящей лесотранспортной эксплуатации сети малых и средних рек. Разработана концепция решения этой проблемы, учитывающая непродолжительность периода навигации на указанных реках и, соответственно, краткосрочность периода эксплуатации используемых устройств [6]. В частности, согласно упомянутой концепции на рассматриваемых реках для крепления лесосплавных объектов наиболее целесообразно использование быстро устанавливаемых мобильных опор. Они должны быть простыми по конструкции, экономичными и надежными. Следует предусмотреть возможность их установки в местах, недоступных для транспорта и другой техники. Перечисленным требованиям соответствуют конструкции, состоящие из легких переносимых емкостей, наполняемых на месте водой или грунтом, размещенных на гибком несущем основании, снабженном секциями грунтозацепов. В качестве наполняемых емкостей могут быть использованы типовые резервуары [5, 10]. Можно также использовать емкости, имеющие гибкую оболочку [11, 12, 20]. Такие опоры разработаны авторами статьи [6, 10, 11].

Секции грунтозацепов, существенно повышающих держащую силу опор (примерно в 2 раза), размещены под емкостями продольными рядами. Фрагмент такого ряда приведен на рис. 1.



Рис. 1. Фрагмент ряда секций грунтозацепов из уголка 50×50×5 мм

Fig. 1. A fragment of a row of ground lug sections made of 50×50×5 mm angle bar

При разработке конструкции грунтозацепов, как и опоры в целом, стремились обеспечить их простоту, низкую стоимость, возможность изготовления в мастерских лесозаготовителей.

Попарное соединение грунтозацепов в секции позволяет исключить их выворачивание из грунта при приложении горизонтальной нагрузки.

Наиболее эффективная и надежная работа опоры предполагается при полном погружении вертикальных элементов грунтозацепов в грунт, в т. ч. в твердый, покрытый дерном, если предусматривается ее эксплуатация в таких условиях. Указанное погружение обеспечивается соответствующим соотношением вертикальной нагрузки, количества грунтозацепов и их размеров. Информации, позволяющей на этапе проектирования решить данную задачу для грунтозацепов рассматриваемой конструкции, не обнаружено. На основании изложенного был сделан вывод о необходимости выполнения рассматриваемого исследования.

Цель – обеспечение надежной работы мобильных наполняемых лесосплавных опор с грунтозацепами.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – грунтозацепы мобильных наполняемых лесосплавных опор. Метод – теоретико-экспериментальный.

На этапе теоретических исследований опирались на положения механики грунтов [13, 14, 16, 18] и сведения, полученные из работ [1, 7–9, 15, 19], посвященных погружению в грунт свай при устройстве сооружений различных конструкций.

При проведении экспериментального исследования по оценке усилий, требуемых для вдавливания секций грунтозацепов в грунт в лабораторных условиях была использована универсальная напольная испытательная машина AG-50kNX, Shimadzu, s/n: 133005002396, оснащенная нагрузочной ячейкой SFL-50KNAG, Shimadzu, s/n: p122107. Интервал измерения нагрузки – от 50 Н до 50 кН. Точность измерения – $\pm 0,5\%$ от усилия. Есть возможность изменения скорости перемещения траверсы в диапазоне 0,0005–1000 мм/мин.

При проведении опытов грунт размещали в пластиковом контейнере. Образцы грунтов, соответствующие размерам контейнера, были взяты из шурфов без нарушения структуры. Исключение составляли песчаные грунты, которые после засыпки в контейнер уплотнили до средней плотности сложения. Контейнер устанавливали на основание под перемещаемой траверсой (рис. 2).



Рис. 2. Вдавливание секции грунтозацепов в грунт испытательной машиной

Fig. 2. Penetration of the ground lug section into soil using the testing machine

Исследуемую секцию грунтозацепов укладывали на поверхность грунта. После этого с помощью испытательной машины осуществляли вдавливание секции грунтозацепов в грунт. Усилие на секцию передавалось через шток, имеющий в нижней части диск с плоской контактной поверхностью. Наличие этого диска обеспечивало равномерную нагрузку на грунтозацепы.

Управление испытательной машиной осуществлялось с рабочего места, оборудованного компьютером, на котором установлено специальное программное приложение. Используя это приложение, задавали основные параметры процесса, в частности скорость вдавливания, глубину вдавливания, единицы измерения и т. д.

Для определения абсолютного и удельного сопротивления пенетрации [2, 3] использован пенетрометр ПСГ-МГ4 (рис. 3), а также более простой прибор – динамический плотномер [4]. При помощи этого прибора, действуя по методике [4], определяли среднее количество ударов, необходимое для погружения его наконечника в грунт на глубину 10 см.



Рис. 3. Пенетрометр: *а* – общий вид; *б* – показания на мониторе

Fig. 3. Penetrometer: *a* – general view; *b* – readings on the monitor

При проведении натурных исследований на предварительно выбранной площадке делали замеры с помощью пенетрометра. Если полученные значения оказывались подходящими, то на этой же площадке выполняли соответствующие действия с динамическим плотномером. Далее определяли требуемые усилия вдавливания для секций грунтозацепов, выполненных из уголков 50×50×5 и 100×100×8 мм. Усилия вдавливания устанавливали в следующем порядке. Укладывали на поверхность грунта секцию грунтозацепов. На нее устанавливали емкость. Емкость постепенно заполняли водой или грунтом. После того как грунтозацепы вдавливались в грунт, заполнение прекращалось. Далее находили массу емкости с водой или грунтом. Зная массу, определяли вертикальную нагрузку, обеспечивающую вдавливание секции. Таким же образом устанавливали силу вдавливания для второй секции, после чего перемещались на следующую площадку с другим грунтом, где выполнялись аналогичные действия.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате теоретических исследований получили аналитические зависимости для усилий вдавливания секции грунтозацепов в сыпучие и глинистые грунты. В первом случае зависимость имеет вид

$$P = 2l(t\sigma_1 + 2fh\sigma_2), \quad (1)$$

во втором

$$P = 2l(t\sigma_1 + 2h(f\sigma_2 + c)), \quad (2)$$

где l – длина грунтозацепа, м; t – толщина вертикального элемента грунтозацепа, м; σ_1 , σ_2 – средние вертикальное в грунте под нижними краями грунтозацепов и нормальное на боковых поверхностях грунтозацепов напряжения соответственно, Па; f – коэффициент трения между грунтом и грунтозацепом; h – максимальная глубина вдавливания грунтозацепа, м; c – удельное сцепление грунта, Па.

Выражения (1), (2) наглядно демонстрируют, что зависимость усилия вдавливания от длины грунтозацепа является почти линейной. Очевидно, что с увеличением этой длины растет и рассматриваемая сила.

Не имея величин напряжений σ_1 и σ_2 для рассматриваемого случая, предварительно мы можем оценить лишь доли в общей силе вдавливания секций грунтозацепов, обуславливаемые нормальными вертикальными и горизонтальными напряжениями в грунте. При этом воспользовались расчетными сопротивлениями под основаниями строительных конструкций в грунте и на их боковых поверхностях [13]. Эти величины приводятся для значительно больших глубин, чем для существующих при вдавливании грунтозацепов. Однако соотношения между этими величинами на разных глубинах относительно стабильны. Указанные сопротивления под основаниями у песчаных грунтов в 55–140 раз больше, чем на боковых поверхностях, у глинистых – в 45–85 раз. При использовании в качестве грунтозацепов уголка из прокатной стали суммарная боковая площадь, по которой действуют силы трения, больше опорной в 20–25 раз. Сопоставление приведенных величин свидетельствует о том, что сопротивление вдавливанию по опорной площади превосходит значение для боковых поверхностей. То есть увеличение толщины грунтозацепа в большей степени будет способствовать росту сопротивления вдавливанию, чем увеличение высоты полки уголка. Кроме того, повышение толщины грунтозацепа предполагает большее уплотнение грунта по обе стороны от боковых поверхностей в процессе вдавливания, таким образом, толщина грунтозацепа сказывается и на сопротивлении вдавливанию по боковым поверхностям.

Сопротивление под основаниями на песчаных грунтах увеличивается с ростом крупности составляющих их фракций. Согласно [13], указанное сопротивление на гравелистых песках в 3–4 раза больше, чем на мелких. На глинистых грунтах оно увеличивается с уменьшением текучести. При изменении этого показателя от 0,6 до 0 расчетное сопротивление под основанием растет примерно в 12 раз. Сопротивления по боковой поверхности имеют аналогичную тенденцию. Однако она проявляется в меньшей степени. Это сопротивление у крупных песков примерно в 1,5 раза больше, чем у мелких. При изменении показателя текучести от 0,6 до 0 у глинистых грунтов оно увеличивается примерно в 4–5 раз. С повышением влажности грунта его сопротивление вдавливанию грунтозацепов уменьшается не только на глинистых, но и на песчаных грунтах.

Воспользовавшись полученными зависимостями и справочными данными, которые, как мы отметили, можно рассматривать в этом случае из-за ма-

лых глубин вдавливания лишь как очень приближенные и существенно завышенные, оценили ориентировочные силы сопротивления вдавливанию секций грунтозацепов. Экспериментальная проверка показала, что расчетные усилия оказались существенно больше фактических. Для получения более достоверной информации потребовалось расширенное экспериментальное исследование. Оно осуществлялось на основе изложенной здесь информации.

При приведении опоры в рабочее состояние отмечается так называемое статическое погружение секций грунтозацепов в грунт вертикальной нагрузкой, передаваемой на грунтозацепы от заполняемых емкостей, расположенных над ними. С учетом этого при выполнении опытов задавали малую скорость вдавливания грунтозацепов – 3 мм/с.

После каждого опыта, выполняемого на испытательной машине, параметры процесса вдавливания выводились на монитор в числовом и графическом виде. Пример графика приведен на рис. 4.

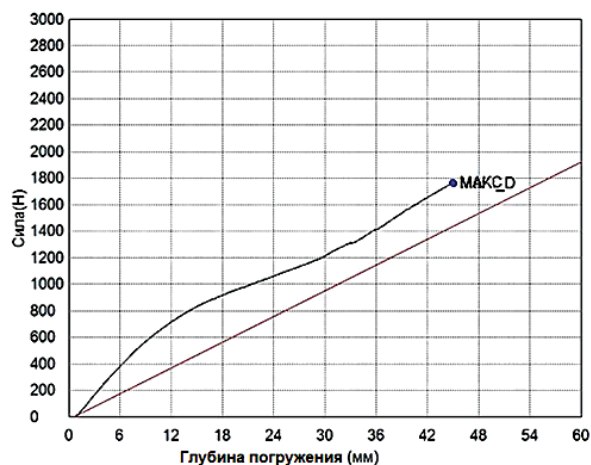


Рис. 4. Пример графика изменения усилия вдавливания от глубины погружения грунтозацепов в грунт

Fig. 4. An example of a graph showing the change in penetration force as a function of the depth that the ground lugs are pressed into soil

Фиксировали усилие, которое прилагалось к секции в момент полного вдавливания вертикальных элементов грунтозацепов в грунт, при этом контролировали вертикальное перемещение.

Для каждого образца грунта определяли с помощью пенетromетра ПСГ-МГ4 абсолютное и удельное сопротивление пенетрации, а также среднее количество ударов, необходимое для погружения наконечника динамического плотнoмера в грунт на глубину 10 см.

В данном лабораторном эксперименте и других, проводимых параллельно, были апробированы секции грунтозацепов, изготовленных из уголков 20×20×3; 32×32×3; 50×50×5; 100×100×8 мм. С этими секциями выполнены пробные серии опытов, в результате которых первые две разновидности секций грунтозацепов не были включены в перечень рекомендуемых. Одна из основных причин состояла в том, что из-за малых вертикальных размеров секций в производственных условиях сложнее будет обеспечить отсутствие контакта между дном наполняемой емкости и поверхностью грунта основания. Длину грунтозацепов секций из уголков 50×50×5; 100×100×8 мм приняли конструктивно 240 мм.

Установили, что абсолютные и удельные сопротивления пенетрации, количество ударов динамического плотномера зависят от тех же характеристик грунта, что и усилие вдавливания секции грунтозацепов в грунт. Анализ полученной при лабораторных опытах информации показал, что между указанными значениями и рассматриваемым усилием существует явно выраженная связь. При этом логично определять требуемые усилия вдавливания для конкретной секции грунтозацепов по показателям пенетromетра или количеству ударов динамического плотномера. При определении этих усилий непосредственно по характеристикам грунта их нужно будет сначала установить, как правило, инструментальными методами, что гораздо более трудоемко и не гарантирует высокой точности. В связи с этим принято решение получить по экспериментальным данным математические зависимости усилия вдавливания секций грунтозацепов от удельного сопротивления пенетрации и от количества ударов динамического плотномера.

Усилия вдавливания секций грунтозацепов в супесь оказались значительно больше, чем усилия для других видов грунтов. Это объясняется тем, что указанный образец сверху, в отличие от других, имел слой дерна. Наличие этого дерна сильно увеличивает требуемые усилия вдавливания. При вдавливании секции грунтозацепов, выполненной из уголка 100×100×8 мм, зафиксировать соответствующее усилие не удалось. Под нагрузкой, передаваемой грунтозацепами, дерн без нарушения целостности начал прогибаться, его края стали подниматься. Измеряемое при этом усилие нельзя было засчитать за достоверное. В меньшей степени это проявилось и при вдавливании через дерн секции грунтозацепов из уголка 50×50×5 мм. Исключить или нивелировать отмеченное явление можно лишь существенно увеличив размеры образцов с дерном в плане, либо путем проведения опытов в натуральных условиях.

Первый вариант проблематичен. При использовании образцов грунта с ненарушенной структурой необходимо устройство шурфов, что трудоемко, особенно при неединичных опытах. При проведении опытов в натуральных условиях потребность в шурфах отпадает. При этом решается вопрос, связанный с деформацией дерна. В связи с этим дальнейшие эксперименты проводили в натуральных условиях, опираясь на информацию, полученную в результате лабораторных работ.

По данным экспериментов получили аппроксимирующие зависимости усилия, требуемого для вдавливания секции грунтозацепов (P , Н), изготовленной из уголка 50×50×5 мм, от среднего количества ударов динамического плотномера (n) и удельного сопротивления пенетрации (p):

$$P = 1453 \ln(n) + 180; \quad (3)$$

$$P = 1446 \ln(p) + 2102, \quad (4)$$

где n – среднее количество ударов динамического плотномера; p – удельное сопротивление пенетрации, МПа.

Достоверность аппроксимации для зависимости (3) – 0,941, для (4) – 0,998 [17].

Зависимости получили и для усилия вдавливания секции грунтозацепов из уголка 100×100×8 мм. Они имеют вид

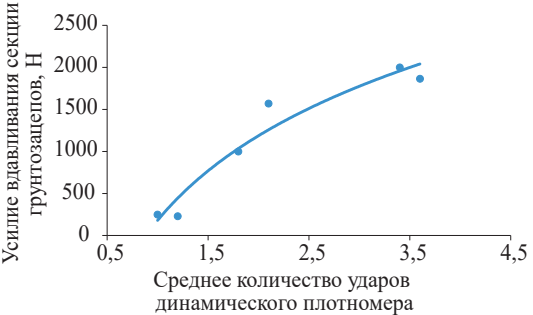
$$P = 1699 \ln(n) + 646; \quad (5)$$

$$P = 2475 \ln(p) + 3948. \quad (6)$$

Достоверность аппроксимации для них – 0,859 и 0,979 соответственно.
Вид зависимости (3) наглядно демонстрирует график, приведенный на рис. 5. Характер зависимостей (4)–(6) аналогичный при количественных различиях.

Рис. 5. Зависимость усилия вдавливания для секции грунтозацепов из уголка 50×50×5 мм от количества ударов динамического плотномера

Fig. 5. Dependence of penetration force for a section of ground lugs made of 50×50×5 mm angle bar on the number of impacts of the dynamic densimeter



Предполагаемая вертикальная нагрузка на одну секцию грунтозацепов определяется делением общей вертикальной нагрузки от наполняемой емкости опоры на количество секций. Полученную величину при практических расчетах рекомендуется сопоставить с данными таблицы, которая составлена с ориентацией на максимальные величины, зафиксированные при экспериментальных исследованиях. Если полученная в результате деления величина существенно превышает соответствующее табличное значение, то дополнительные измерения на местности и расчеты усилия вдавливания можно не выполнять. Это вероятно при установке опор на песчаных и супесчаных грунтах, не покрытых дерном. Если результат неочевиден или грунтовые условия имеют особенности, целесообразно воспользоваться пенетрометром или динамическим плотномером для измерения на конкретном месте и рассчитать по рекомендованным формулам усилие вдавливания, на основании результатов расчетов сделать соответствующий вывод. Этот вариант наиболее вероятен при установке опор на твердых глинах или на грунтах, покрытых дерном. Трудоемкость этого способа существенно ниже варианта, предполагающего пробное вдавливание секции грунтозацепов большой вертикальной нагрузкой.

Усилия, требуемые для вдавливания различных секций грунтозацепов, Н
The forces required to press the ground lug sections, N

Вид грунта	Усилия для секции, изготовленной из уголка	
	50×50×5	100×100×8
Песок	300	800
Суглинок	1250	2000
Глина твердая	1800	2300
Супесь под слоем дерна	2300	3200

Если под слоем дерна находится не супесь, а другой грунт, следует ориентироваться на величины, приведенные в нижней строке таблицы, поскольку именно дерн обуславливает наиболее существенное увеличение усилия вдавливания.

Если вертикальная нагрузка на секцию грунтозацепов недостаточна для ее вдавливания, необходимо уменьшить количество секций или использовать секции меньшего размера.

Выводы

1. Теоретическим путем получены формулы для определения усилий вдавливания секций грунтозацепов мобильных лесосплавных опор. С помощью данных формул установлены факторы, влияющие на выходные величины, характер и степень влияния этих факторов.

2. В результате экспериментальной проверки выявлено, что усилия вдавливания грунтозацепов, найденные с помощью полученных аналитических формул, существенно больше фактических, поскольку при вычислениях воспользовались расчетными сопротивлениями под основаниями строительных конструкций в грунте и на их боковых поверхностях, которые приводятся в справочной литературе для значительно больших глубин, чем рассматриваемые в данном случае. В связи с этим потребовалось проведение экспериментов, которые осуществлялись на основе информации, полученной при теоретических исследованиях.

3. Установлено, что усилие, требуемое для вдавливания секции грунтозацепов в грунт, зависит от тех же характеристик грунта, что и количество ударов динамического плотномера для погружения его наконечника на необходимую глубину и удельное сопротивление пенетрации, измеряемое пенетрометром. При лабораторных исследованиях подтверждено, что между тремя указанными величинами есть явно выраженная связь.

4. С учетом доказанной связи выполнены экспериментальные исследования в натурных условиях. Получены аппроксимирующие зависимости усилия, требуемого для вдавливания секций грунтозацепов длиной 240 мм, изготовленных из уголка 50×50×5 и 100×100×8 мм, от среднего количества ударов динамического плотномера и удельного сопротивления пенетрации.

5. Для нескольких видов грунтов приведены усилия, необходимые для вдавливания секций грунтозацепов указанных типоразмеров в грунт, с ориентацией на максимальные величины, зафиксированные при экспериментальных исследованиях.

6. Приведенные в статье данные позволяют наиболее эффективно решать вопросы, связанные с обеспечением погружения грунтозацепов в грунт, будут способствовать надежной работе мобильных наполняемых лесосплавных опор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994. 384 с.

Bartolomei A.A., Omel'chak I.M., Yushkov B.S. *Prediction of Settlement in Pile Foundations*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1994. 384 p. (In Russ.).

2. Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методом пенетрации. Часть 1 // Инженерные изыскания. 2010. № 11. С. 26–34.

Boldyrev G.G. Soil Penetration Testing. Part 1. *Engineering Survey*, 2010, no. 11, pp. 26–34. (In Russ.).

3. Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методом пенетрации. Часть 2 // Инженерн. изыскания. 2010. № 12. С. 30–42.

Boldyrev G.G. Soil Penetration Testing. Part 2. *Engineering Survey*, 2010, no. 12, pp. 30–42. (In Russ.).

4. Болдырев Г.Г. Испытания грунтов методом динамического зондирования // Инженерн. изыскания. 2011. № 1. С. 22–30.

Boldyrev G.G. Soil Testing Using Standard Penetration Test. *Engineering Survey*, 2011, no. 1, pp. 22–30. (In Russ.).

5. Еврокуб // Завод удачных теплиц: офиц. сайт. Режим доступа: <https://tepli4ki.ru/> (дата обращения: 23.07.25).

Eurocube. *The Greenhouse Factory*: Official Website. (In Russ.).

6. Козлов К.В., Посыпанов С.В. Использование мобильных наполняемых опор для крепления наплавных объектов на лесосплаве // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 23. С. 541–545.

Kozlov K.V., Posypanov S.V. The Use of Portable Filling Supports for Fastening Floating Structures in Timber Rafting. *Innovatsii. Nauka. Obrazovaniye*, 2020, no. 23, pp. 541–545. (In Russ.).

7. Косоруков И.И., Пешковский Л.М., Руденко-Моргун И.Я., Чичерин И.И., Дикман Л.Г., Сосков В.И. Свайные работы. М.: Высш. шк., 1974. 391 с.

Kosorukov I.I., Peshkovskiy L.M., Rudenko-Morgun I.Ya., Chicherin I.I., Dikman L.G., Soskov V.I. *Pile Works*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 391 p. (In Russ.).

8. Маскалева В.В. Несущая способность сваи по теоретическому методу, методу статического и динамического зондирования // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3(18). С. 104–116.

Maskaleva V.V. Bearing Capacity of Pile by the Theoretical Method, by Methods of Static and Dynamic Sounding. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, no. 3(18), pp. 104–116. (In Russ.).

9. Метелюк Н.С., Шишко Г.Ф., Соловьева А.Б., Грузинцев В.В. Сваи и свайные фундаменты. Киев: Будівельник, 1977. 256 с.

Metelyuk N.S., Shishko G.F., Solovyeva A.B., Gruzintsev V.V. *Piles and Pile Foundations*. Kyiv, Budivelnik Publ., 1977. 256 p. (In Russ.).

10. Посыпанов С.В., Козлов К.В. Теоретическое обоснование держащей силы мобильной опоры для крепления лесосплавных объектов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 141–151.

Posypanov S.V., Kozlov K.V. Theoretical Justification of the Holding Power of a Mobile Anchor for Holding Timber-Rafting Objects. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 1, pp. 141–151. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-141-151>

11. Посыпанов С.В., Козлов К.В. Инженерный расчет гибких оболочек лесосплавных опор // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 159–174.

Posypanov S.V., Kozlov K.V. The Engineering Calculation of Flexible Shells of Timber-Rafting Anchors. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 5, pp. 159–174. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-159-174>

12. Ткани Ханхва // Торговый дом Технический текстиль: офиц. сайт. Режим доступа: https://tex.ru/catalog/tkani_hanwha_koreya/ (дата обращения: 23.07.25).

Hanwha Fabrics. *Technical Textile Trading House*: Official Website. (In Russ.).

13. Цытович Н.А. Механика грунтов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1983. 288 с.

Tsytovich N.A. *Soil Mechanics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1983. 288 p. (In Russ.).

14. Alpan I. The Geotechnical Properties of Soils. *Earth-Science Reviews*, 1970, vol. 6, iss. 1, pp. 5–49. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(70\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(70)90001-2)

15. Baker W.H., Kondner R.L. Pullout Load Capacity of a Circular Earth Anchor Buried in Sand. *Highway Research Record*, 1966, no. 108, pp. 569–576.
16. Craig R.F. *Soil Mechanics*. London, E & FN Spon, 1997. 485 p.
17. Field A. *Discovering Statistics Using SPSS*. London, SAGE Publications Ltd, 2009. 857 p.
18. Gabrys K., Szymanski A. The Evaluation of the Initial Shear Modulus of Selected Cohesive Soils. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2015, vol. 37, iss. 2, pp. 3–9.
<https://doi.org/10.1515/sgem-2015-0014>
19. Pongchompu P. Laboratory Study on Timber Raft & Pile Foundation on Soft Ground. *International 60th Canadian Geotechnical Conference & 8th Joint CGS/IAH-CNC Ground Water Conference. Canada*, 2007, pp. 1809–1815.
20. *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. Ed. by K.L. Yam. John Wiley & Sons, Inc., 2009. 1376 p. <https://doi.org/10.1002/9780470541395>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest