

Научная статья

УДК 627.142.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-141-151

Теоретическое обоснование державшей силы мобильной опоры для крепления лесосплавных объектов

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

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

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; s.posypanov@narfu.ru[✉], kozlovkonstantin94@gmail.com

Поступила в редакцию 29.06.23 / Одобрена после рецензирования 23.09.23 / Принята к печати 26.09.23

Аннотация. Лесотранспортная эксплуатация малых и средних рек обеспечивает экономическую доступность древесного сырья, находящегося на большом удалении от потребителей. Для этих рек типичны непродолжительность использования лесосплавных объектов, перемещение их с одного места на другое. На данных объектах наиболее подходящим представляется применение мобильных наполняемых опор. Приведено краткое описание их конструкции, монтажа и демонтажа. Изготовление и эффективное использование таких опор требует соответствующего обоснования их параметров, в частности державшей силы. Цель исследования – разработка научных основ для определения державшей силы и эффективного применения указанных опор. Выполнено теоретическое обоснование процесса взаимодействия предлагаемой нами опоры с грунтовым массивом. На базе этого обоснования разными способами получены 2 альтернативные формулы для установления державшей силы, обеспечиваемой одной секцией грунтозацепов. Вычисления по этим формулам дают близкие результаты. Примерно одинаковы в них и зависимости державшей силы от определяющих факторов, к которым относятся вертикальная нагрузка на секцию грунтозацепов, передаваемая от наполняемых емкостей, коэффициент трения материала опоры по грунту, плотность грунта, его коэффициент внутреннего трения, глубина внедрения грунтозацепов в грунт. Похожие свойства формул позволяют считать их достоверными. Общая державшая сила опоры рассчитывается по массе наполняемых емкостей, державшей силе одной секции грунтозацепов и их количеству. Установлены степень и характер влияния определяющих факторов на державшую силу мобильной наполняемой гравитационно-анкерной опоры. Увеличение любого из них приводит к возрастанию державшей силы. Наиболее значимым фактором является вертикальная нагрузка на секцию грунтозацепов. Зависимость от нее державшей силы линейная. В меньшей степени влияют (в порядке убывания) угол внутреннего трения грунта, коэффициент трения материала опоры по грунту, его плотность. Размеры грунтозацепов в реальных диапазонах их изменения воздействуют незначительно, но сам факт их наличия обеспечивает ощутимую долю державшей силы опоры.

Ключевые слова: лесосплав, опора, мобильная опора, наплавные сооружения, крепление плотов, державшая сила

Для цитирования: Посыпанов С.В., Козлов К.В. Теоретическое обоснование державшей силы мобильной опоры для крепления лесосплавных объектов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 141–151. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-141-151>

Original article

Theoretical Justification of the Holding Power of a Mobile Anchor for Holding Timber-Rafting Objects

Sergey V. Posypanov[✉], 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. Kozlov, Postgraduate Student; ResearcherID: [JFA-2045-2023](https://orcid.org/0009-0003-8892-5867),

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

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; s.posypanov@narfu.ru[✉], kozlovkonstantin94@gmail.com

Received on June 29, 2023 / Approved after reviewing on September 23, 2023 / Accepted on September 26, 2023

Abstract. Exploitation of small and medium-sized rivers for wood transportation ensures the economic availability of wood raw materials located at a great distance from consumers. Short-term operation of timber rafting facilities and their movement from one place to another is typical for these rivers. At such facilities, the use of mobile fillable anchors is considered to be the most appropriate. The article provides a brief description of their design, installation and dismantling. The fabrication and effective application of such anchors requires appropriate justification of their parameters (the holding power, in particular). The purpose of this study is to develop the scientific basis for determining the holding power and effective application of these anchors. A theoretical justification for the process of interaction of the proposed anchor with the soil mass has been carried out. On the basis of this justification, two alternative formulas were obtained to determine the holding power provided by one section of the grouser. Calculations using these formulas give similar results. The dependences of the holding power on the determinants, such as the vertical load on one section of the grouser transmitted from the containers being filled, the coefficient of friction of the anchor material on the soil, the density of the soil, the coefficient of its internal friction and the depth of penetration of the grousers into the soil are approximately the same. Similar properties of these formulas allow to consider them reliable. The total holding power of the anchor is calculated according to the weight of the filled containers, the holding power of one section of the grouser and their number. The degree and nature of the influence of the determinants on the holding power of a mobile fillable gravity anchor have been established. An increase in any of them leads to an increase in the holding power. The most significant determinant is the vertical load on one section of the grouser. The dependence of the holding power on it is linear. To a lesser extent, in descending order, the angle of the internal friction of the soil, the coefficient of friction of the anchor material on the soil, and the density of the soil influence the holding power. The dimensions of the grouser and their change have little effect, but the very fact of their presence provides a sizeable proportion of the holding power of the anchor.

Keywords: timber rafting, anchor, mobile anchor, floating structures, raft holding, holding power



For citation: 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>

Введение

Экономическая доступность запасов древесины, которые находятся в удаленных лесных массивах, нередко может быть обеспечена лишь при использовании наиболее дешевого, водного транспорта. Речная сеть лесных регионов России состоит в основном из малых и средних рек. Большая часть из них использовалась для молевого сплава, на смену которому должны прийти новые, экологически щадящие технологии. Малые и средние реки имеют некоторые особенности, такие как непродолжительная навигация, существенные скорости течения и, соответственно, значительные нагрузки на лесосплавные объекты. Эти особенности необходимо учитывать при разработке технических и технологических решений, что относится и к опорам, предназначенным для крепления наплавных объектов.

Опоры являются важнейшими лесосплавными объектами, от которых зависит безаварийность выполняемых работ. Особенно актуально это стало в связи со значительным повышением требований промышленно-экологической безопасности. Существующие конструкции опор во многих случаях неприменимы на малых и средних реках. Для их сооружения и установки, как правило, требуется техника, во многих случаях не способная подойти к месту размещения опоры. Кроме того, большинство существующих опор имеют относительно высокую стоимость, они окупаются только при длительном сроке эксплуатации лесосплавного объекта, располагающегося на постоянном месте. Для малых и средних рек нужны относительно недорогие опоры, которые можно было бы легко перемещать из одного пункта в другой, при необходимости доставлять непосредственно на место установки без применения транспорта, устанавливать и демонтировать с использованием переносимых устройств. Нами предложена конструкция мобильной наполняемой опоры, удовлетворяющей указанным требованиям (рис. 1). По общеизвестной классификации она может быть отнесена к опорам гравитационно-анкерного типа [12].

В число главных элементов предлагаемой опоры входит гибкое основание, снабженное грунтозацепами, которые выполнены из прокатной стали. Грунтозацепы в основании размещены в несколько продольных рядов. Фрагмент одного из рядов представлен на рис. 1, б. Основание является несущим элементом конструкции, к нему крепится гибкая связь, соединяющая опору с удерживаемым наплавным объектом. На гибком основании располагаются легкие емкости, быстро заполняемые водой или другими местными материалами. В качестве легких заполняемых емкостей могут быть использованы, например, так называемые еврокубы [5, 20] (рис. 1, в).

Монтаж мобильной наполняемой опоры производится на местности непосредственно у уреза воды, что позволяет существенно уменьшить длину довольно дорогих стальных канатов, соединяющих опоры с наплавными объектами. После укладки на грунт гибкого основания на него устанавливаются заполняемые емкости и завершают сборку опоры, как указано на рис. 1, а.

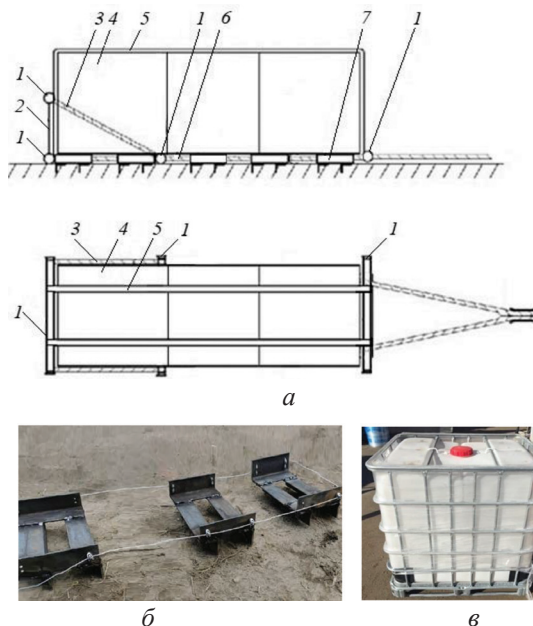


Рис. 1. Мобильная наполняемая опора: *a* – общая схема (1 – поперечная балка; 2 – пластина; 3 – канат боковой; 4 – наполняемая емкость; 5 – крепежная лента; 6 – канат гибкого основания; 7 – секция грунтозацепов); *б* – фрагмент ряда секций грунтозацепов; *в* – еврокуб

Fig. 1. Mobile fillable anchor: *a* – general scheme (1 – crossbeam; 2 – plate; 3 – side rope; 4 – container to be filled; 5 – tension band; 6 – flexible base rope; 7 – grouser section); *б* – fragment of the row of the grouser sections; *в* – eurocube

Затем, используя переносной насос, заполняют емкости водой или сыпучим грунтом, подаваемым в виде пульпы с последующим отводом воды через специальные прорези. После прекращения отстоя лесотранспортных единиц и, соответственно, эксплуатации наплавных сооружений в данном пункте опора может быть быстро демонтирована. При этом сливают воду из емкостей через краны в нижней части. В случае заполнения емкостей грунтом (песком) их разбирают, грунт разравнивают. Опору в разобранном или собранном виде доставляют на место следующего применения или хранения. Дополнительные сведения о мобильных наполняемых опорах можно найти в статьях [6–8].

Для изготовления и эффективного применения таких опор необходимо соответствующее обоснование их основных параметров, в частности держащей силы, поэтому мы обратились к литературным источникам. В данной области наиболее известны труды В.Г. Таскаева [1, 2], А.Н. Вихарева [3, 4], А.А. Митрофанова [9, 10], Г.Я. Сулова [11], а также W. Baker, R. Kondner [16], С. Heibig [18]. В результате изучения названных работ пришли к выводу о необходимости описываемого здесь исследования.

Цель исследования – разработка научных основ для определения держащей силы мобильных наполняемых опор гравитационно-анкерного типа и их эффективной эксплуатации.

Задачи:

- выполнить теоретическое обоснование процесса взаимодействия мобильной наполняемой гравитационно-анкерной опоры с грунтовым массивом;
- на основе выполненного обоснования получить зависимости для определения держащей силы указанной опоры;
- установить степень и характер влияния определяющих факторов на держащую силу такой опоры.

Объект исследования – мобильная наполняемая гравитационно-анкерная опора.

Результаты исследования и их обсуждение

Грунтозацепы опоры попарно соединены друг с другом жесткими продольными связями. Такая конструкция названа секцией грунтозацепов. Указанное соединение предотвращает поворачивание грунтозацепов относительно направленной вдоль них оси при приложении нагрузки к опоре. Грунтозацепы и соединяющие их жесткие связи изготавливаются из прокатной стали уголкового профиля. Секции грунтозацепов соединены между собой с помощью гибких связей (рис. 1, б; рис. 2).

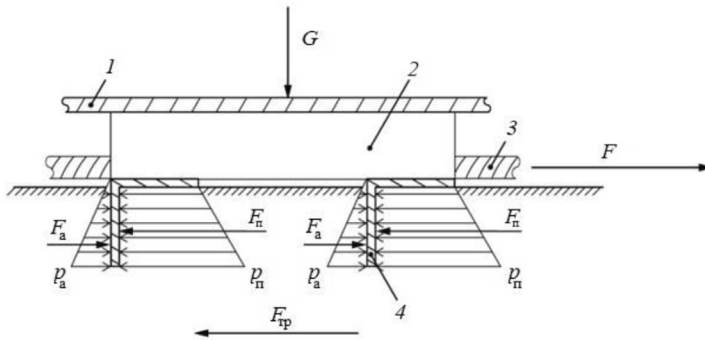


Рис. 2. Фрагмент нижней части наполняемой мобильной гравитационно-анкерной опоры: 1 – дно наполняемой емкости; 2 – соединительный продольный элемент секции грунтозацепов; 3 – продольная гибкая связь основания опоры; 4 – грунтозацеп [6]

Fig. 2. Fragment of the lower part of the fillable mobile gravity anchor: 1 – bottom of the container to be filled; 2 – connecting longitudinal element of the grouser section; 3 – longitudinal flexible connection of the anchor base; 4 – grouser [6]

Расстояние между грунтозацепами одной секции (рис. 2) и соседних секций в продольном ряду (м) установили с учетом длины призмы выпирания грунта, которая определяется по формуле

$$l = htg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

где h – глубина внедрения грунтозацепов в грунт, м; φ – угол внутреннего трения грунта, ...°.

Общая держащая сила рассматриваемой опоры складывается из держащих сил ее секций грунтозацепов. На рис. 2 отражены силы, действующие на секцию. От заполненной емкости на секцию передается сила тяжести. Будем считать, что на каждую секцию приходится равная часть от общей силы тяжести, обусловленной массой всех емкостей. При этом непосредственный контакт между дном емкостей и грунтом отсутствует. В противном случае держащая сила опоры будет снижаться. Для недопущения этого соединительные продольные элементы секций грунтозацепов (рис. 2) должны быть достаточно высокими. В случае наличия на месте размещения опоры локальных резко выступающих неровностей грунта их следует устранить.

При действии на опору рабочей нагрузки возникает сила трения (Н) между поверхностью грунта и горизонтальными полками грунтозацепов:

$$F_{\text{тр}} = G\mu, \quad (2)$$

где G – сила тяжести, воспринимаемая одной секцией, Н; μ – коэффициент трения горизонтальной части грунтозацепа по поверхности грунта.

Также при приложении к опоре рабочей нагрузки со стороны ее действия на вертикальные части грунтозацепов действуют силы пассивного отпора грунта [14]. Здесь на эту силу оказывает влияние давление на поверхность грунта, которое обусловлено частью силы тяжести, передаваемой от наполняемой емкости. В связи с этим давление пассивного отпора имеет место уже на поверхности грунта. Учитывая трапецеидальную форму эпюры давления справа от грунтозацепа (рис. 2), выражение для силы пассивного отпора грунта (Н) при подходе, используемом в механике грунтов при расчетах подпорных стенок [15], можно записать в следующем виде:

$$F_{\text{п}} = 0,5(p_0 + \rho gh)\lambda_{\text{п}}\omega,$$

где p_0 – вертикальное давление на грунт от горизонтальных элементов грунтозацепов, Па; ρ – плотность грунта, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\lambda_{\text{п}}$ – коэффициент пассивного отпора грунта; ω – площадь, воспринимающая давление грунта, м².

$$\lambda_{\text{п}} = \text{tg}^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right);$$

$$p_0 = \frac{G}{2\omega_{\text{г}}}, \quad (3)$$

$\omega_{\text{г}}$ – площадь опорной поверхности горизонтального элемента грунтозацепа, м².

При прямоугольной форме указанной поверхности

$$\omega_{\text{г}} = bl, \quad (4)$$

где b – ширина опорной поверхности горизонтального элемента грунтозацепа, м; l – длина рабочей части грунтозацепа, м.

С противоположной стороны на вертикальные части грунтозацепов действуют силы активного давления грунта [17]. Сила активного давления грунта на один грунтозацеп (Н) может быть определена из выражения

$$F_{\text{а}} = 0,5\rho gh\lambda_{\text{а}}\omega,$$

где $\lambda_{\text{а}}$ – коэффициент активного давления грунта,

$$\lambda_{\text{а}} = \text{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right).$$

При прямоугольной форме рабочей части грунтозацепа

$$\omega = hl.$$

С учетом всех усилий, действующих на секцию грунтозацепов на несвязных грунтах, и приведенных выше выражений для ее держащей силы (Н) получили формулу:

$$F = G\mu + 2\left(0,5\left(\frac{G}{2bl} + \rho gh\right)_{\text{п}} hl - 0,5\rho gh_{\text{а}} hl\right).$$

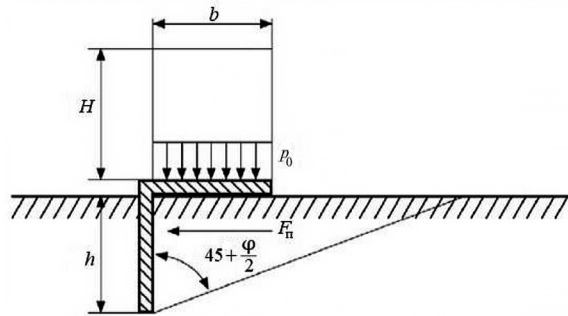
Посредством преобразований данную формулу привели к виду

$$F = G\mu + \left(\left(\frac{G}{2bl} + \rho gh \right) - \rho gh_a \right) hl. \quad (5)$$

Верность полученного выражения не вызвала бы сомнений, если бы вертикальная нагрузка на поверхность грунта прикладывалась по всей длине призмы выпирания. В данном случае это не так, поэтому рассмотрели альтернативное решение. При этом использовали расчетную схему, приведенную на рис. 3.

Рис. 3. Расчетная схема к альтернативному варианту определения силы пассивного отпора

Fig. 3. Design diagram for an alternative method of determining the passive resistance force



Вместо эпюры горизонтальных давлений здесь рассматриваем призму выпирания грунта [19]. Вертикальное давление p_0 заменяем параллелепипедом из грунта такого же, как в призме, выпирания. Один из размеров параллелепипеда равен длине призмы выпирания l , второй – ширине опорной поверхности горизонтального элемента грунтозацепа b . Высота параллелепипеда определяется из выражения

$$H = \frac{p_0}{\rho g},$$

или, с учетом (3) и (4),

$$H = \frac{G}{2bl\rho g}.$$

Тогда сила пассивного отпора

$$F_n = \left(0,5h^2 \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) l + \frac{G}{2\rho g} \right) \rho g \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi}{2} \right).$$

После преобразования этого выражения получили

$$F_n = 0,5lh^2 \rho g \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 0,5G \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi}{2} \right).$$

Эту формулу можно записать и в другом виде:

$$F_n = 0,5 \left(\rho gh \lambda_n \omega + G \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right). \quad (6)$$

С учетом (6) альтернативой формуле (5) будет выражение

$$F = G\mu + G \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + (\rho gh \lambda_n - \rho gh \lambda_a) hl. \quad (7)$$

После преобразований (7) получили

$$F = G\mu + Gtg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) + \rho gh^2 l (\lambda_n - \lambda_a). \quad (8)$$

Для наглядности сравнения привели (5) к виду

$$F = G\mu + \frac{Gh}{2b} \lambda_n + \rho gh^2 l (\lambda_n - \lambda_a). \quad (9)$$

Альтернативные формулы (8) и (9) отличаются только 2-м слагаемым.

Для количественного сопоставления результатов провели расчеты по формулам (8), (9) для конкретного случая. Размеры грунтозацепов, выполненных из уголка 50×50×5 мм: $h = 0,045$ м; $b = 0,045$ м; $l = 0,240$ м. Указанные размеры приняты конструктивно с учетом пробных опытов по внедрению секций грунтозацепов в различные грунты. Плотность грунта $\rho = 1850$ кг/м³, угол внутреннего трения $\varphi = 33^\circ$ соответствуют мелкому сухому песку в плотном состоянии, $\mu = 0,4$ при взаимодействии стали с песком [13]. По полученным данным построили графики (рис. 4).

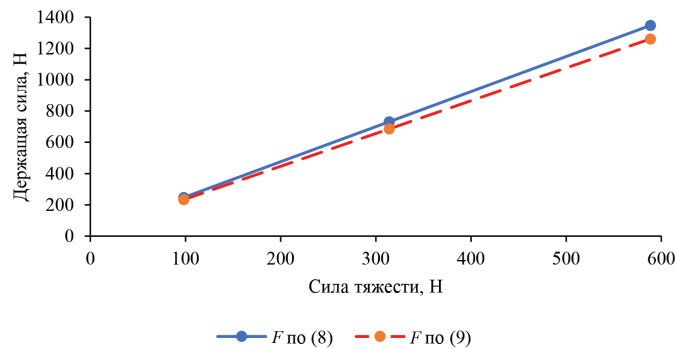


Рис. 4. Графики зависимостей державшей силы секции грунтозацепов от силы тяжести, приходящейся на нее, при $h = 0,045$ м; $b = 0,045$ м; $l = 0,240$ м; $\rho = 1850$ кг/м³; $\varphi = 33^\circ$; $\mu = 0,4$

Fig. 4. Graphs of the dependencies of the holding power of a grouser section on the force of gravity exerted on it, at $h = 0.045$ m; $b = 0.045$ m; $l = 0.24$ m; $\rho = 1850$ kg/m³; $\varphi = 33^\circ$; $\mu = 0.4$

Графики наглядно демонстрируют, что уравнения (8), (9) дают примерно одинаковые результаты. Державшая сила в обоих случаях линейно возрастает с увеличением вертикальной нагрузки, приходящейся на секцию грунтозацепов. Анализ полученных зависимостей позволил, кроме того, установить и другие факторы, влияющие на державшую силу секции грунтозацепов, а значит, и опоры в целом. Согласно обеим формулам, державшая сила увеличивается также с возрастанием плотности грунта и угла его внутреннего трения; заглубления грунтозацепов и коэффициента трения элементов опоры по грунту. Соответствие результатов в двух вариантах, установленных разными способами, позволяет полагать, что полученные решения являются правильными.

Выполненные по выражениям (8), (9) расчеты дали возможность оценить не только характер, но и степень влияния различных факторов на державшую

силу. Варьируя при расчетах значения каких-либо из факторов, остальные принимали равными тем, что указаны ранее.

При изменении вида несвязных грунтов меняются, как правило, плотность грунта и угол внутреннего трения. При переходе с мелкого рыхлого сухого песка плотностью 1550 кг/м^3 и с углом внутреннего трения 27° на крупный и гравелистый плотный мокрый песок плотностью 2250 кг/м^3 и с углом внутреннего трения 35° держащая сила увеличивается примерно на 30 %. Отметим, что угол внутреннего трения более значимо влияет на выходную величину, чем плотность грунта. Изменение коэффициента трения элементов опоры по грунту от 0,35 до 0,45 приводит к повышению держащей силы приблизительно только на 5 %. Рост держащей силы секции грунтозацепов более чем в 2 раза превышает вызвавшее его увеличение вертикальной нагрузки. Примерно на 70 % держащая сила опоры обусловлена наличием грунтозацепов, находящихся под воздействием вертикальной нагрузки, и, соответственно, примерно на 30 % – трением по поверхности грунта. При этом размеры самих грунтозацепов в реальном диапазоне их изменения не очень влияют на держащую силу. Важен факт их наличия. Они обеспечивают значительную долю держащей силы опоры.

Держащая сила опоры в целом определяется делением силы тяжести, создаваемой наполняемыми емкостями, на количество секций грунтозацепов, вычислением по полученному результату держащей силы одной секции по формуле (8) или (9) и последующим умножением этой силы на число секций.

Полученные результаты являются полезным вкладом в теоретическое изучение вопроса, при этом они позволят оптимизировать предполагаемые экспериментальные исследования, которые планируется провести с целью проверки приведенных в статье положений.

Выводы

1. Опираясь на положения механики грунтов, теоретически обосновали процессы взаимодействия мобильной наполняемой гравитационно-анкерной опоры с грунтовым массивом.

2. На базе выполненного обоснования разными способами получили 2 альтернативные формулы для определения держащей силы, обеспечиваемой одной секцией грунтозацепов. Близость результатов вычислений по формулам, схожесть зависимостей от определяющих факторов дают основание считать данные формулы достоверными. Общая держащая сила опоры рассчитывается по массе наполняемых емкостей, держащей силе одной секции и их количеству.

3. С использованием полученных зависимостей установили, что при переходе с мелкого рыхлого сухого песка плотностью 1550 кг/м^3 и с углом внутреннего трения 27° на крупный и гравелистый плотный мокрый песок плотностью 2250 кг/м^3 и с углом внутреннего трения 35° держащая сила секции грунтозацепов растет примерно на 30 %. Угол внутреннего трения более значимо влияет на выходную величину, чем плотность грунта. Коэффициент трения элементов опоры по грунту варьирует от 0,35 до 0,45, что обуславливает повышение держащей силы приблизительно на 5 %. Увеличение держащей силы секции грунтозацепов более чем в 2 раза превосходит вызвавшее его увеличение вертикальной нагрузки. То есть вертикальная нагрузка на секцию грунтозаце-

пов – наиболее значимый фактор. Примерно на 70 % держащая сила опоры объясняется действием грунтозацепов, находящихся под влиянием вертикальной нагрузки, и, следовательно, примерно на 30 % – трением по поверхности грунта. При этом размеры самих грунтозацепов в реальных диапазонах их изменения не очень значительно отражаются на держащей силе. Важно их наличие, обеспечивающее весомую долю держащей силы опоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. А. с. 1523508 СССР, МПК В65G 69/20 (2006.01). Устройство для берегового крепления наплавных сооружений: № 4343248/31-11: заявл. 03.11.1987: опубл. 23.11.1989 / В.Г. Таскаев.

Taskaev V.G. *A Device for Shore Anchorage of Floating Structures*. USSR, no. SU 1523508A1, 1989. (In Russ.).

2. А. с. 1548321 СССР, МПК E02B 3/06 (2006.01). Устройство для берегового крепления наплавных сооружений: № 4360415/30-15: заявл. 06.01.1988: опубл. 07.03.1990 / В.Г. Таскаев, Г.Г. Чешков.

Taskaev V.G., Cheshkov G.G. *A Device for Shore Anchorage of Floating Structures*. USSR, no. SU 1548321A1, 1990. (In Russ.).

3. Вихарев А.Н. Расчет формы призмы выпирания грунта при вертикальном сдвиге анкера круглой формы методом квазипотенциального моделирования // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. фак. природ. ресурсов АГТУ. Вып. 4. Архангельск: АГТУ, 2010. С. 80–86.

Vikharev A.N. Calculation of the Shape of the Prism of Soil Protrusion during Vertical Displacement of a Round-Shaped Anchor Using the Quasi-Potential Modeling Method. *Improving Equipment and Technologies for Logging and Wood Transportation: Collection of Scientific Papers of the Faculty of Natural Resources of ASTU*. Arkhangelsk, ASTU, 2010, iss. 4, pp. 80–86. (In Russ.).

4. Вихарев А.Н., Гагарин П.Н. Квазипотенциальное моделирование механических характеристик работы анкера в грунтах // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. сотрудников фак. природ. ресурсов, посвящ. 70-летию АГТУ и ФПР. Архангельск: АГТУ, 1999. С. 73–83.

Vikharev A.N., Gagarin P.N. Quasi-Potential Modeling of the Mechanical Characteristics of the Anchor Operating in the Soil Mass. *Improving Equipment and Technologies for Logging and Wood Transportation: Collection of Scientific Papers of the Faculty of Natural Resources, Dedicated to the 70th Anniversary of ASTU and the Faculty of Natural Resources*. Arkhangelsk, ASTU, 1999, pp. 73–83. (In Russ.).

5. Еврокуб // Сайт «Завода удачных теплиц». Режим доступа: <https://tepli4ki.ru/> (дата обращения: 17.01.22).

Eurocube. *The Website of "The Successful Greenhouse Plant"*. (In Russ.).

6. Козлов К.В., Беляев Н.С., Посыпанов С.В. Оценка держащей силы мобильных наполняемых опор гравитационно-анкерного типа // Актуал. науч. исслед. в соврем. мире. 2021. № 11-11(79). С. 19–23.

Kozlov K.V., Belyaev N.S., Posypanov S.V. Assessment of the Holding Power of Mobile Fillable Gravity Anchors. *Current Scientific Research in the Modern World*, 2021, no. 11-11(79), pp. 19–23. (In Russ.).

7. Козлов К.В., Беляев Н.С., Посыпанов С.В. Анализ крепления лесосплавных объектов при коротких сроках навигации // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 36. С. 1543–1546.

Kozlov K.V., Belyaev N.S., Posypanov S.V. Analysis of Anchoring of Timber-Rafting Facilities for Short Navigation Periods. *Innovations. Science. Education*, 2021, no. 36, pp. 1543–1546. (In Russ.).

8. 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 Mobile Fillable Anchors for Holding the Floating Objects in Timber Rafting. *Innovations. Science. Education*, 2020, no. 23, pp. 541–545. (In Russ.).

9. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. Архангельск: АГТУ, 1999. 268 с.

Mitrofanov A.A. *Scientific Justification and Development of an Environmentally Safe Rafting*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1999. 268 p. (In Russ.).

10. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: моногр. Архангельск: АГТУ, 2007. 492 с.

Mitrofanov A.A. *Timber Rafting. New Technologies, Scientific and Technical Support: monograph*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 492 p. (In Russ.).

11. Патент 119757 РФ, МПК E02B 1/00 (2006.01), E02B 3/00 (2006.01), E01D 19/00 (2006.01). Анкерная опора для берегового крепления наплавных сооружений: № 2012116665/13: заявл. 24.04.2012: опубл. 27.08.2012 / Г.Я. Суров, А.Н. Вихарев, С.Е. Лихачев, А.А. Емельянов. 9 с.

Surov G.Ya., Vikharev A.N., Likhachev S.E., Emel'yanov A.A. *The anchor for holding the floating structures to the shore*. Patent RF, no. RU 119757U1, 2012. (In Russ.).

12. Патакин В.И., Дмитриев Ю.Я., Зайцев А.А. Водный транспорт леса. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 336 с.

Patyakin V.I., Dmitriev Yu.Ya., Zaytsev A.A. *Water Log Movement*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 336 p. (In Russ.).

13. Технические таблицы. 2006. Режим доступа: <https://tehtab.ru/> (дата обращения: 17.12.21).

Technical Tables, 2006. (In Russ.). <https://tehtab.ru/>

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

Tsytovich N.A. *Mechanics of Soils*: 4th ed., revised and enlarged. Moscow, Vyshaya shkola Publ., 1983. 288 p. (In Russ.).

15. Ambrose J. *Simplified Design of Masonry Structures*. New York, John Wiley and Sons, 1991. pp. 70–75.

16. Baker W.H., Kondner R.L. *Pullout Load Capacity of a Circular Earth Anchor Buried in Sand*. National Academy of Sciences, Highway Research Record, 1966, no. 108, pp. 1–10.

17. Craig R.F. *Soil Mechanics*. 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.

18. Heibig C. *Künstliche Anker beim Seilkraneinsatz State of the Art*. Zürich, ETHZ D-WAHO Forstliches Ingenieurwesen, 1997. 44 p.

19. Verruijt A. *Soil Mechanics*. Delft University of Technology, 2012. 331 p.

20. Yam K.L. *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. John Wiley & Sons, 2009. 1376 p. <https://doi.org/10.1002/9780470541395>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article