

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЕРЖАЩЕЙ СИЛЫ СВАЙНОЙ РУСЛОВОЙ ОПОРЫ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАБИВНОГО ЯКОРЯ

кандидат технических наук, доцент **П.Н. Перфильев**

кандидат технических наук **О.В. Мурашова**

кандидат технических наук **Н.О. Задраускайте**

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
г. Архангельск, Российская Федерация

Лесная промышленность в Российской Федерации активно развивается. При этом модернизируется технологическое и производственное оборудование, оптимизируются цепочки поставок лесопродукции. В Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации в последние годы большое количество предприятий лесопромышленного комплекса повышают объемы транспортировки круглых лесоматериалов водными видами транспорта, в частности в плотах. Для предотвращения «обсушки» плотов и крепления лесотранспортных единиц в русле реки используют свайные опоры. В том случае, когда рейд предприятия находится в устье реки, в весенне-зимний период свайная опора подвергается дополнительным нагрузкам из-за намораживания льда и колебания уровня воды в реке в результате действия приливо-отливных явлений. В результате этого свайная опора льдом демонтируется, что приводит к ежегодной замене свайных кустов в весенний период после прохождения ледохода. По мнению авторов, это является экономически невыгодным, так как вынуждает предприятия ежегодно тратить трудовые и материальные ресурсы на изготовление и установку свайных русловых опор. Вместе с тем их установка должна быть произведена в сжатые сроки. При изучении состояния вопроса для исследований выбрана свайная опора с повышенной держащей силой, которая дополнительно укомплектована удерживающим устройством в виде забивного якоря. В работе представлены результаты исследования состояния изучаемого вопроса, методика исследования, анализ экспериментальных данных и полученные математические зависимости. Полученные экспериментальные данные и зависимости обработаны стандартными статистическими средствами.

Ключевые слова: лесосплав, опора, держащая сила, свая, эксперимент

DETERMINING THE INCREASE OF THE POWER SUPPLY OF THE PILED PIER THROUGH THE USE OF DRIVEN ANCHOR

PhD (Engineering), Associate Professor **P.N. Perfiliev**

PhD (Engineering) **O.V. Murashova**

PhD (Engineering) **N.O. Zadrauskaite**

FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov",
Arkhangelsk, Russian Federation

Abstract

The forest industry in the Russian Federation is actively developing. At the same time, technological and production equipment is being modernized, and timber supply chains are being optimized. A large number of timber industry enterprises have increased the volume of transportation of round timber by water modes of transport, in particular, in rafts in the North-West Federal District of the Russian Federation in recent years. Pile piers are used to prevent "drying" of rafts and fastening of forest transport units in a riverbed. In the case when the enterprise's raid is at the mouth of the river, the pile pier is subjected to additional loads due to freezing of ice and fluctuation of the water level in the river as a result of tidal phenomena in the spring-winter period. As a result, pile pier is dismantled by ice. It leads to the annual replacement of pile dolphins in spring after passing the ice drift. According to the au-

thors, this is not economically profitable, as it forces enterprises to spend annually labor and material resources on the manufacture and installation of pile channel piers. However, their installation should be carried out in a short time. When studying the state of the issue, a pile pier with an increased holding force has been selected, which is additionally equipped with a holding device in the form of a driven anchor. The paper presents the results of a study of the state of the question under study, the research methodology, analysis of experimental data and the obtained mathematical dependencies. The obtained experimental data and dependences have been processed by standard statistical tools.

Keywords: rafting, pier, holding force, pile, experiment

Введение

В настоящее время в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации активно развиваются предприятия лесопромышленного комплекса, при этом постоянно увеличиваются объемы лесозаготовки и деревообработки. Одним из видов транспорта в логистической схеме транспортировки круглых лесоматериалов является сплав в лесотранспортных единицах [1, 2, 3]. Вследствие возрастающего количества объемов транспортировки сырья деревоперерабатывающим предприятиям необходимо увеличивать количество плотостоянок на рейде приплава [4, 5]. На лесопромышленных предприятиях города Архангельска для крепления прибывших на рейд плотов используют свайные русловые опоры. Данный вид опор хорошо зарекомендовал себя в технологиях крепления лесотранспортных единиц. Предприятия расположены в устье реки Северная Двина в непосредственной близости к Белому морю. Поэтому на рейдах приплава всех деревоперерабатывающих предприятий наблюдаются приливно-отливные колебания уровней воды. Например, в течение февраля-марта 2020 года амплитуда колебаний уровней воды по Соломбальскому водомерному посту составила 1 метр. В весенне-зимний период из-за ежедневных колебаний уровней русловая свайная опора демонтируется льдом. Вследствие этого после прохождения весеннего ледохода необходимо ежегодно забивать новые опоры. Это, по мнению авторов, является экономически невыгодным. При изучении состояния вопроса исследованы конструкции различных свайных русловых опор, которые позволяют избежать вымораживания опоры в весенне-зимний период [6, 7, 8].

Особый интерес представляет свайная опора с повышенной держащей силой, представлен-

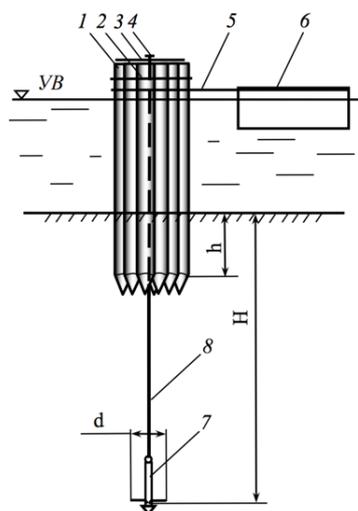
ная в работе [6]. Увеличение держащей силы происходит вследствие наличия дополнительного удерживающего устройства. В качестве таких устройств возможно использование забивных и винтовых якорей. При монтаже сваи забивают в грунт так, чтобы канат от якоря находился внутри свайного куста и проходил вдоль его оси. Сваи между собой скрепляют проволочными обвязками. Сверху на свайный куст устанавливают специальный ограничитель, через который пропускают канат. С помощью сжима канат крепят на ограничителе. Ограничитель передает на дополнительное удерживающее устройство нагрузки от свайного куста, которые резко возрастают в зимний период при значительных колебаниях уровня воды.

Материалы и методы исследования

Описанная выше русловая опора выбрана для исследования (рис. 1). На основании изучения состояния вопроса выбраны управляющие факторы, которые влияют на держащую силу свайной опоры: глубина забивки якоря и габариты лопастей якоря.

Исследования проведены в грунтовом бассейне на кафедре лесопромышленных производств и обработки материалов ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». При проведении экспериментальных исследований в качестве отклика принята держащая сила опоры.

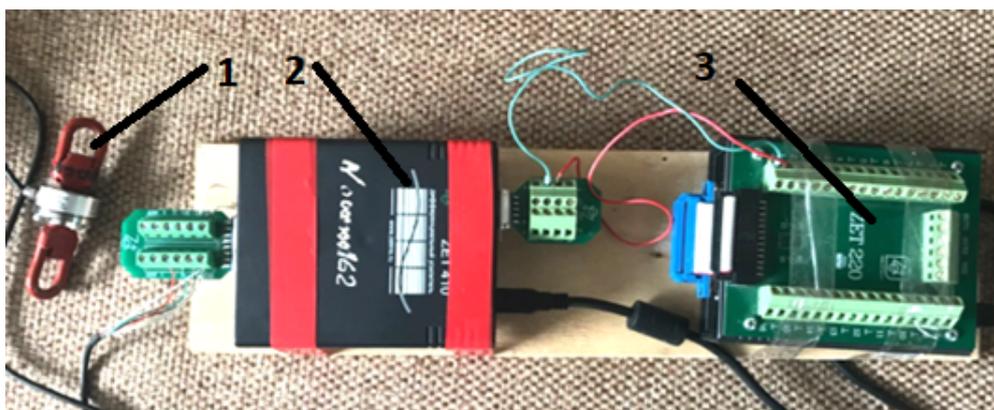
Для определения держащей силы опоры использовано измерительное оборудование ZetLab, в комплект которого входит тензодатчик УММ К-20, усилитель Zet-410 и аналоговый преобразователь Zet-220 (рис. 2). Для подключения оборудования ZetLab собрана схема, которая представлена на рис. 3.



1 – свая; 2 – проволочные обвязки; 3 – ограничитель; 4 – фиксатор; 5 – канат швартовый; 6 – плот;
7 – забивной якорь; 8 – шейма

Рис. 1. Свайный куст с якорной опорой

Источник: Митрофанов, А. А. Плостоянки. Конструкция, технология, эксплуатация: учеб. пособие / А. А. Митрофанов, Г.Я. Суров. – Архангельск : РИО АГТУ, 1997. – 113 с. [6]



1 – тензодатчик UMM – K20; 2 – усилитель ZetLab – 410; 3 – преобразователь ZetLab – 220

Рис. 2. Измерительное оборудование ZetLab

Источник: Собственные фотографии авторов

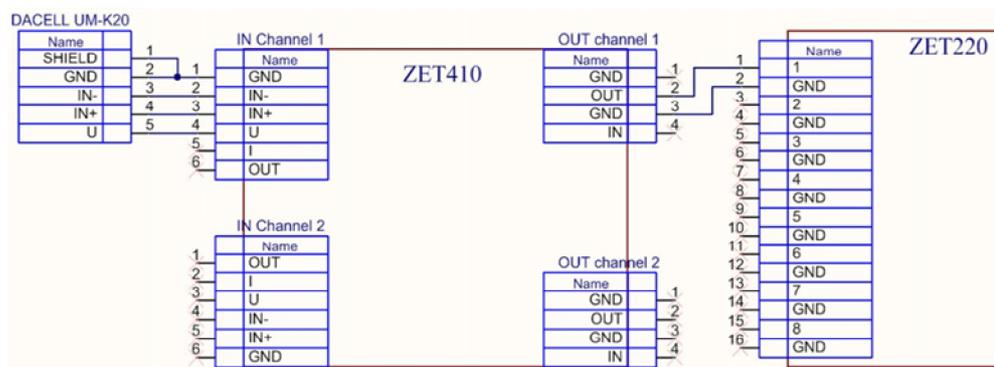


Рис. 3. Схема подключения оборудования ZetLab

Источник: Собственные изыскания авторов

Результаты

Перед основными исследованиями проведены 100 предварительных экспериментов. Полученные данные обработаны при помощи программного обеспечения Microsoft Excel и Statistica. По результатам экспериментов произведен подбор закона распределения значений держашей силы [9].

Визуально по полученным графикам (рис. 9) выдвинута гипотеза о том, что имеющиеся эмпирические данные подчиняются нормальному закону распределения [10]. Данная гипотеза подтверждена критериями согласия Колмогорова-Смирного и Шапиро-Уилка (рис. 9). По критерию согласия Колмогорова-Смирнова уровень значимости больше 0,2, по Шапиро-Уилка – больше 0,05, следовательно, гипотеза о нормальности имеющегося распределения случайной величины не отклонена.

При анализе полученных данных держашей силы русловой опоры определены описательные статистики (рис. 4).

Среднее значение и медиана близки по своим значениям. Величина коэффициента асимметрии ниже 0,5 и положительна, следовательно, присутствует незначительная правосторонняя асимметрия. Значение коэффициента асимметрии не превышает более чем в 2 раза стандартную ошибку асимметрии. Значение эксцесса больше нуля, следовательно, график распределения случайной величины островершинный. По рис. 5 можно сделать вывод, что гипотеза о нормальности распределения случайной величины в выборке не отклонена.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы построены нормальный вероятностный график и диаграмма размаха (рис. 5).

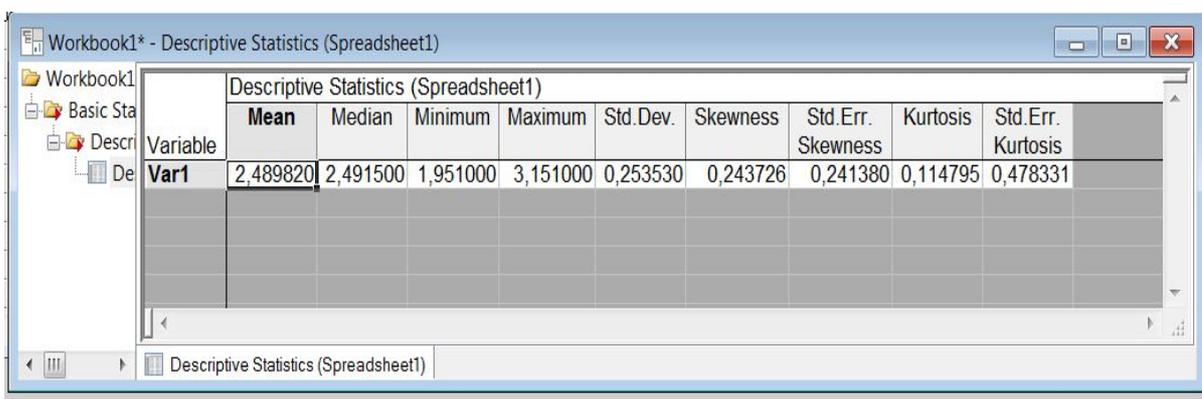


Рис. 4. Описательные статистики

Источник: Собственные вычисления авторов

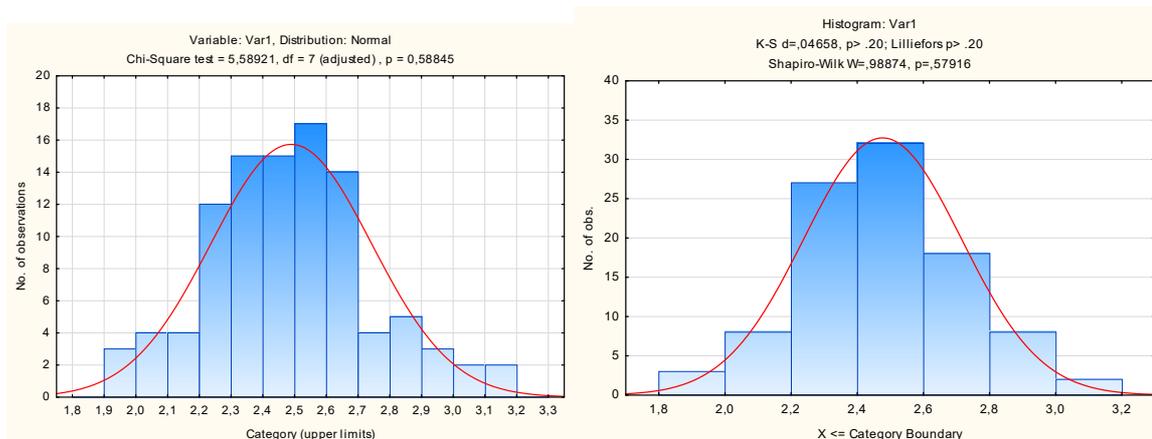


Рис. 5. Наблюдаемое и ожидаемое распределения случайной величины

Источник: Собственные вычисления авторов

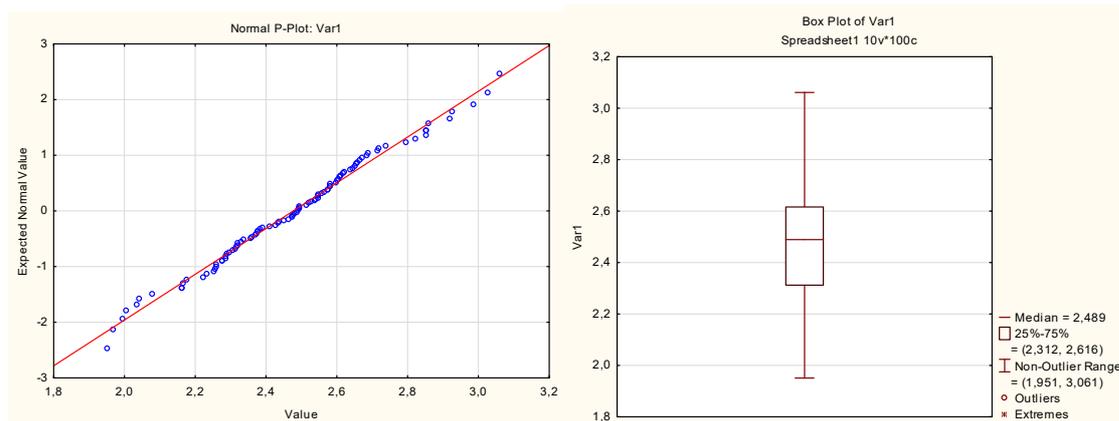


Рис. 6. Нормальный вероятностный график и диаграмма размаха

Источник: Собственные вычисления авторов

На рис. 6 видно, что экспериментальные данные на нормальном вероятностном графике достаточно близко расположены вдоль теоретической нормальной прямой, на диаграмме размаха ящик и усы достаточно симметричны, медиана находится практически по центру. Это также подтверждает гипотезу о том, что эмпирические данные подчиняются нормальному закону распределения случайной величины.

Так как в исследовании получено распределение случайной величины, следовательно, в дальнейших изысканиях стала понятна методика нахождения статистических характеристик, в том числе математического ожидания.

На основании предварительных экспериментов с помощью критерия Стьюдента определена величина количества повторений каждого эксперимента ($n=17$).

Для проведения экспериментального исследования изготовлены модели якорей с различным размахом лап (диаметр 20, 30, 40 мм). В качестве факторов, влияющих на держащую силу F , приняты диаметр размаха лап D и глубина забивки якоря H . Данные факторы оказывают существенное влияние на формирование призмы выпирания грунта. Отношение $\frac{H}{D}$ в экспериментальных исследованиях варьировалось от 2 до 10. Для каждой серии опытов, состоящих из 17 повторений, определено наличие (или отсутствие) грубых ошибок с помощью критерия Стьюдента. Для якоря с диа-

метром размаха лап 20 мм построен график зависимости $F = f\left(\frac{H}{D}\right)$, представленный на рис. 8.

В результате исследований для модели якоря с размахом лап диаметром 20 мм получена математическая линейная зависимость

$$F = 1,09 \cdot \frac{H}{D} + 1,05. \quad (1)$$

Адекватность полученной математической зависимости (1) экспериментальным данным доказана с помощью критерия Фишера (табл. 1).

Для якоря с диаметром размаха лап 30 мм построен график зависимости $F = f\left(\frac{H}{D}\right)$, представленный на рис. 7.

В результате исследований для модели якоря с размахом лап диаметром 30 мм получена математическая линейная зависимость

$$F = 3,49 \cdot \frac{H}{D} - 3,56. \quad (2)$$

Адекватность полученной математической зависимости (2) экспериментальным данным доказана с помощью критерия Фишера.

Для якоря с диаметром размаха лап 40 мм построен график зависимости держащей силы $F = f\left(\frac{H}{D}\right)$, представленный на рис. 9.

В результате исследований для модели якоря с размахом лап диаметром 40 мм получена математическая линейная зависимость

$$F = 6,54 \cdot \frac{H}{D} - 1,88. \quad (3)$$

Адекватность полученной математической зависимости (3) экспериментальным данным доказана с помощью критерия Фишера.

Исследования выполнены на моделях в геометрическом масштабе 1:20. Масштаб динамического моделирования первоначально определен согласно рекомендациям [11] для использования забивных якорей ЯС-150, -170, -200 и находится в диапазоне: 1:3000 для якоря с диаметром размаха лап 40 мм, 1:5000 для якоря с диаметром размаха лап 30 мм, 1:11000 для якоря с диаметром размаха лап 20 мм. Для более точного определения масштаба моделирования держащей силы необходимо выполнить натурные исследования.

Выводы

В работе рассмотрена проблема повышения держащей силы свайной русловой опоры, предназначенной для крепления прибывающих по водным транспортным путям лесотранспортных единиц. Плоты в устье реки ставят на рейдовые плотостоянки и далее расформируют. Крепление лесотранспортных единиц на деревоперерабатывающих предприятиях Архангельской области Российской

Федерации осуществляют в основном с помощью русловых опор. В зимний период, вследствие приливо-отливных течений, происходят значительные колебания уровня воды в реках и намерзшего на русловые опоры льда, в результате чего опора демонтируется. Лесопромышленные предприятия вынуждены ежегодно забивать свайные русловые опоры, что является экономически неэффективным. В работе предложено повысить держащую силу русловых опор с помощью монтажа дополнительно удерживающего устройства. В статье рассмотрено состояние вопроса и выбрана опора для исследования, представлено лабораторное и измерительное оборудование, примененное в экспериментах. Полученные экспериментальные данные прошли стандартную статистическую обработку в программных средах Statistica и Microsoft Excel. Доказана нормальность распределения статистических данных с помощью критериев согласия Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. С помощью критерия Стьюдента определено количество повторений эксперимента. В результате получены математические зависимости держащей силы дополнительного удерживающего устройства русловой опоры от диаметра размаха лап и глубины забивки. С помощью критерия Фишера оценена адекватность полученных зависимостей экспериментальным данным.

Таблица 1

Проверка адекватности полученной математической зависимости экспериментальным данным

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
<i>Отклик (держущая сила)</i>	<i>F опытное</i>	<i>F расчетное</i>
Среднее значение, Н	7,71	7,71
Дисперсия, Н	10,68	9,29
Количество наблюдений	9	9
df	8	8
F	1,15	
P(F<=f) одностороннее	0,42	
F критическое одностороннее	3,44	

Источник: Собственные вычисления авторов

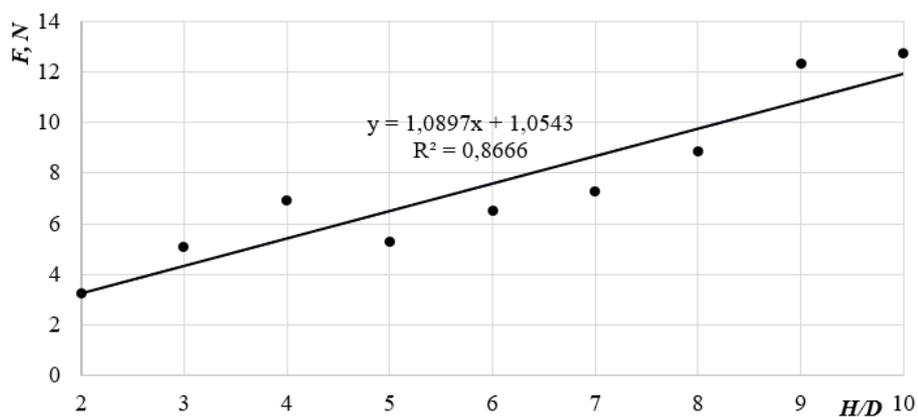


Рис. 7. Зависимость держашей силы модели якоря от глубины забивки (диаметр размаха лап 20 мм)

Источник: Собственные вычисления авторов

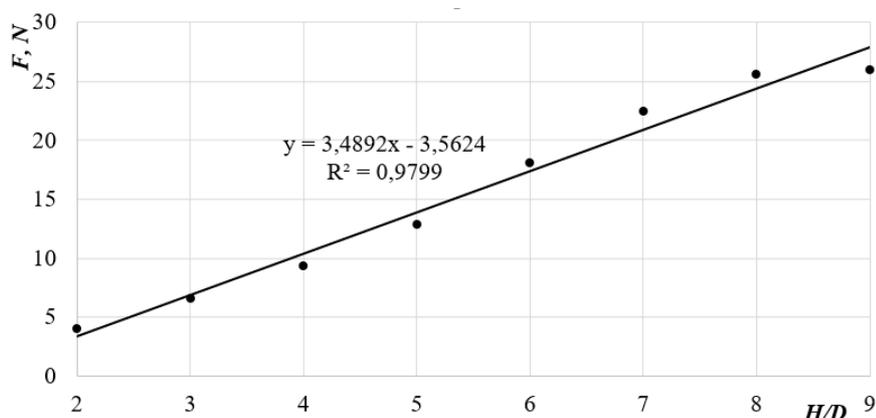


Рис. 8. Зависимость держашей силы модели якоря от глубины забивки (диаметр размаха лап 30 мм)

Источник: Собственные вычисления авторов

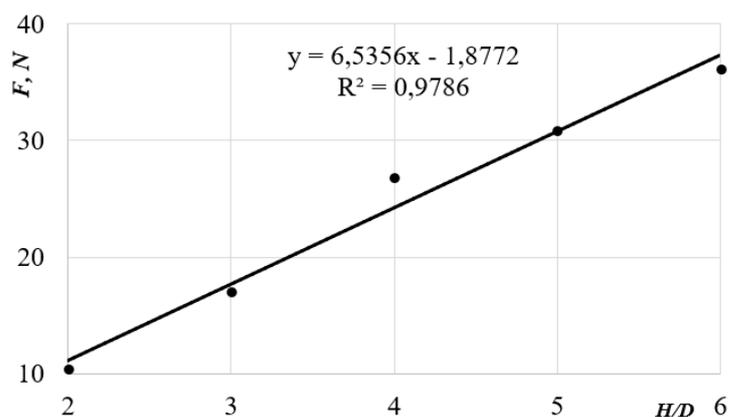


Рис. 9. Зависимость держашей силы модели якоря от глубины забивки (диаметр размаха лап 40 мм)

Источник: Собственные вычисления авторов

Библиографический список

1. Митрофанов, А. А. Лесосплав : новые технологии, научное и техническое обеспечение : моногр. / А. А. Митрофанов. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2007. – 492 с. – ISBN 5-261-00244-3.

2. Будька, С. Х. Водный транспорт леса и механизация лесосплавных работ / С. Х. Будька, Г. А. Манухин, А. Н. Пименов. – Минск : Вышэйша школа, 1970. – 439 с.
3. Харитонов, В. Я. Сборник избранных трудов : сб. науч. тр. / В. Я. Харитонов. – Архангельск : С(А)ФУ, 2010. – 480 с. + 1 эл. Копия. – ISBN 978-5-261-00553-7.
4. Derbin, V. On the feasibility of voluntary forest certification / V. Derbin, M. Derbin // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings, 30 June – 6 July, 2016, vol. 2, pp. 589–594. – DOI: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046/issn 1314-2704.
5. Derbin, V. Monitoring of forest certification on the example of the enterprises LLC Solombalales Managing company / V. Derbin, M. Derbin // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings, 30 June – 6 July, 2016, vol. 2, pp. 571–580. – DOI: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046/ issn 1314-2704.
6. Митрофанов, А. А. Плотостоянки. Конструкция, технология, эксплуатация : учеб. пособие / А. А. Митрофанов, Г. Я. Суров. – Архангельск, 1997. – 113 с. – ISBN 5-230-00041-4.
7. Патент № 142848 U1 Российская Федерация, МПК E02D 5/54. Руслонная свая / Суров Г.Я., Мурашова О.В., Поташев С.С. ; № 2014103838/03 : заявл. 04.02.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19 ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова».
8. Патент № 190228 U1 Российская Федерация, МПК E02D 5/54. Свайная руслонная опора с повышенной держащей силой / Перфильев П.Н., Рыбак Г.В., Задраскайте Н.О.; № 2019112569: заявл. 24.04.2019; опубл. 24.06.2019, Бюл. № 18; заявитель и патентообладатель ФГАОУ «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова».
9. Мурашова, О. В. Организация и методы научных исследований : учеб. пособие / О. В. Мурашова, Г. Я. Суров, Н. П. Перфильев. – Архангельск : САФУ, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.. – ISBN 978-5-261-01312-9.
10. Perfiliev, P. Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft / P. Perfiliev, N. Zadrasukaite, G. Rybak // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18(1.5), Austria, 2018. – P. 765–772. – DOI:10.5593 / sgem2018V / 1.5 / S03. 093/issn1314-2704.
11. Суров, Г. Я. Лесосплавной такелаж и такелажные работы : учеб. пособие для вузов / Г. Я. Суров, С. В. Посыпанов, Л. Н. Зунин. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2008. – 138 с. – ISBN 978-5-261-00376-2.

References

1. Mitrofanov A.A. Lesosplav. *Novyye tekhnologii, nauchnoye i tekhnicheskoye obespecheniye* [Timber rafting. New technologies, scientific and technical support monograph]. Arkhangel'sk: ASTU, 2007, 492 p. (in Russian). ISBN 5-261-00244-3.
2. Budyka S.Kh., Manukhin G.A, Pimenov A.N. *Vodnyy transport lesa i mekhanizatsiya lesosplavnykh rabot* [Water transport of forest and mechanization of timber rafting works]. Minsk: Higher School, 1970, 439 p. (in Russian).
3. Haritonov V.Ya. *Sbornik izbrannykh trudov* [Collection of Selected Works]. Arhangel'sk: S(A)FU, 2010, 480 p. (in Russian). ISBN 978-5-261-00553-7.
4. Derbin V., Derbin M. On the feasibility of voluntary forest certification. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings*, 30 June – 6 July, 2016, vol. 2, pp. 589-594. DOI: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046/issn 1314-2704.
5. Derbin V., Derbin M. Monitoring of forest certification on the example of the enterprises LLC Solombalales Managing company. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems, www.sgem.org, sgem2016 conference proceedings*, 30 June – 6 July, 2016, vol. 2, pp. 571-580. DOI: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046/ issn 1314-2704.

6. Mitrofanov A.A., Surov G.Ya. *Plotostoyanki. Konstrukciya tekhnologiya ehkspluatatsiya : Uchebnoe posobie* [Raft stations. Design, technology, exploitation: Textbook]. Arkhangelsk, 1997, 113 p. (in Russian). ISBN 5-230-00041-4.

7. Patent № 142848 U1 Rossiskaya Federaciya, MPK E02D 5/54 *Ruslovaya svaya* № 2014103838 03 zayavl. 04.02.2014; opubl. 10.07.2014 / Surov G. Ya., Murashova O.V., Potashev S.S.; zayavitel i patentoobladatel FGAOU «Severnyj Arkticheskij federalnyj universitet imeni M V Lomonosova» [Utility model patent № RU 142848 U1, IPC E02D 5/54. Channel pile № 2014103838/03: declared.04.02.2014; publ. 10.07.2014 / Surov G.Ya., Murashova O.V., Potashev S.S.; applicant and patent holder of the «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov».]

8. Patent № 190228 U1 Rossiskaya Federaciya, MPK E02D 5/54. *Svajnaya ruslovaya opora s povyshennoj derzhashhej siloj* / Perfiliev P.N., Rybak G.V., Zadrauskaite N.O.; № 2019112569: zayavl. 24.04.2019; opubl. 24.06.2019, Byul. № 18; zayavitel i patentoobladatel FGAOU «Severnyj (Arkticheskij) federalnyj universitet imeni M.V. Lomonosova» [Patent no. 190228 U1 Russian Federation, IPC E02D 5/54. Pile run-support with increased holding power / Perfiliev P.N., Rybak G.V., Sadauskaite N.O. About.; No. 2019112569: Appl. 24.04.2019; publ. 24.06.2019, Byul. No. 18; applicant and patent holder of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.]

9. Murashova O.V., Surov G.Ya., Perfiliev N.P. *Organizaciya i metody nauchnykh issledovanij: uchebnoe posobie* [Organization and methods of scientific research: textbook]. Arkhangelsk: SAFU, 2018 (in Russian). ISBN 978-5-261-01312-9.

10. Perfiliev P., Zadrauskaite N., Rybak G. Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18(1.5), Austria, 2018, p. 765-772. DOI:10.5593 / sgem2018V / 1.5 / S03. 093/issn1314-2704.

11. Surov G.Ya., Posypanov S.V., Zunin L.N. *Lesosplavnoj takelazh i takelazhnye raboty: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Timber rigging and rigging works: textbook for universities]. Arhangelsk: Izd-vo AGTU, 2008, 138 p. (in Russian). ISBN 978-5-261-00376-2.

Сведения об авторах

Перфильев Павел Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесопромышленных производств и обработки материалов ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: p.perfilev@narfu.ru.

Мурашова Ольга Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: o.murashova@narfu.ru.

Задраускайте Наталья Олеговна – кандидат технических наук, доцент кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: n.zadrauskaite@narfu.ru.

Information about authors

Perfiliev Pavel Nikolaevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Timber production and materials processing department, FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov", Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: p.perfilev@narfu.ru.

Murashova Olga Valeryevna – PhD (Engineering), Associate Professor of Timber production and materials processing department, FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov", Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: o.murashova@narfu.ru.

Zadrauskaite Natalya Olegovna – PhD (Engineering), Associate Professor of Timber production and materials processing department, FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov", Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: n.zadrauskaite@narfu.ru.