

DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_27-31
 УДК 004.942, 630.387.33

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЧАСТИ
 СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ
 ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ**

**THE RESULTS OF THE STUDY OF THE NON-STATIONARY PART OF THE
 RESISTANCE OF THE UNSTEADY MOVEMENT OF THE LOGS RAFTING UNITS**

Мануковский А.Ю., доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия Воронеж.

Шадрина Я.В., соискатель ученой степени кандидата наук ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Россия Воронеж.

Manukovsky A.Yu., D. Sc. in engineering, professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia, Voronezh

Shadrina Ya.V., PhD candidate Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia, Voronezh

Аннотация: Изучено воздействие нестационарной составляющей сопротивления на общую величину сопротивления воды движению лесотранспортных единиц при ускорении. Результаты основаны на изучении неустановившегося движения лесотранспортных единиц в условиях мелководья. Для исследования были специально разработаны сплотовые единицы для транспортировки лесоматериалов по рекам с малыми глубинами. Полученные результаты позволяют оценить влияние нестационарной части сопротивления на общее сопротивление при разгоне лесотранспортной единицы.

Abstract: The effect of the non-stationary component of resistance on the total value of water resistance to the movement of logs transport units during acceleration is studied. The results are based on the study of the non-stationary movement of logs transport units in shallow water conditions. For the study, rafting units were specially developed for transporting timber along rivers with shallow depths. The obtained results allow us to estimate the effect of the non-stationary component of resistance on the total resistance during acceleration of a logs transport unit.

Ключевые слова: сплотовая единица, сопротивление воды, неустановившееся движение, коэффициент сопротивления, коэффициент не стационарности.

Keywords: rafting unit, water tractive resistance, unsteady motion, coefficient of resistance, nonstationarity factor.

Эффективная организация процесса транспортировки лесоматериалов в настоящее время является одной из основополагающих задач, решение которой может повысить продуктивность работы лесного комплекса в целом. В настоящее время объемы вывозки заготавливаемой на лесосеках древесины сдерживаются комплексом факторов, главным из которых является отсутствие транспортной инфраструктуры, необходимой для перевозки грузов из удаленных лесных массивов. При этом следует отметить, что практически

исчерпаны лесные ресурсы, вывозка которых рентабельна с точки зрения локации относительно существующих транспортных путей – лесных дорог и дорог общего пользования – автомобильного транспорта и железнодорожного.

В этой связи огромные перспективы представляет собой транспортировка лесоматериалов водными путями, особенно по малым рекам. Последние десятилетия доминирующими методами транспортировки лесоматериалов являются судовые перевозки и зимняя береговая сплотка с последующим выводом плотов весной во время стояния высоких уровней воды. Транспортировка лесоматериалов по малым рекам практически не осуществляется в связи с отсутствием технологий, позволяющих организовать этот процесс эффективно как с экономической точки зрения, так и с позиций экологии и защиты окружающей среды.

В настоящее время интерес может представлять восстановление системы навигационной сплотки древесины, базирующейся на научно-обоснованных технологиях. Это позволило бы увеличить объемы сплава по водным путям лесных регионов страны.

Сплав леса по малым рекам затруднен в первую очередь ограниченностью водного потока, что обосновывает специфические требования к лесотранспортным единицам (ЛТЕ): малая осадка, высокая прочность и повышенные требования к управляемости. ЛТЕ. Соответствующая перечисленным требованиям, разработана сплоточная единица (СЕ) [2]. Были проведены экспериментальные исследования её гидродинамических характеристик при неустановившемся движении.

Эксперименты проводились на моделях в масштабе 1:20. Модели ЛТЕ состояли из СЕ, расположенных в ряд от 1 до 6. Исследования проводились при различных соотношениях глубины наполнения бассейна к осадке h/T : 7.0, 5.0, 4.0, 2.7, 1.6. Высота СЕ составляла $H = 0,05$ м, а соотношение длины линейки из СЕ к её ширине L/B варьировалось от 1 до 6. Модели буксировались со скоростями v в диапазоне от 0,1 до 0,3 м/с [2].

Гидродинамическое сопротивление при неустановившемся движении ЛТЕ определяется по формуле [3]

$$R = \xi \frac{\rho}{2} \Omega v^2 \quad (1)$$

где ξ – коэффициент сопротивления движению,

$$\xi = \xi_0 + \xi_n \quad (2)$$

ξ_0 – коэффициент сопротивления, определяемый при равномерном поступательном движении ЛТЕ, соответствует текущей скорости ЛТЕ при неустановившемся движении;

ξ_n – коэффициент нестационарности, учитывающий дополнительное сопротивление, возникающее при неустановившемся движении;

ρ – плотность воды;

Ω – площадь миделя;

v – скорость движения ЛТЕ относительно воды.

Гидродинамическое сопротивление при неустановившемся движении ЛТЕ состоит из двух сил:

$$R = R_0 \pm \Delta R_{\text{нест}} \quad (3)$$

где R_0 – стационарная часть сопротивления. Гидродинамическое сопротивление равномерному движению ЛТЕ;

$\Delta R_{\text{нест}}$ – нестационарная часть сопротивления. Дополнительное сопротивление, которое возникает при неустановившемся движении.

Нестационарная часть сопротивления определяется по формуле [3]

$$\Delta R_{\text{нест}} = M_{\text{д}} (n - n_0) \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

где n – коэффициент не стационарности.

Коэффициент не стационарности учитывает влияние на процесс движения присоединенной массы λ , массы воды $M_{\text{в}}$ в пространствах внутри ЛТЕ и нестационарной части сопротивления $\Delta R_{\text{нест}}$

$$n = \frac{\lambda + M_{\text{в}} \pm \Delta R_{\text{нест}} \frac{dv}{dt}}{M_{\text{д}}} \quad (5)$$

$M_{\text{д}}$ – масса древесины ЛТЕ;

$\frac{dv}{dt}$ – ускорение движения ЛТЕ;

n_0 – коэффициент нестационарности в начальный момент времени, в который ЛТЕ передается усилие буксировки и возникает ускорение.

$$n_0 = \frac{\lambda + M_{\text{в}}}{M_{\text{д}}} \quad (6)$$

На основании выражений (1 – 3) выводится формула для определения нестационарной части сопротивления

$$\Delta R_{\text{нест}} = \xi_{\text{н}} \frac{\rho}{2} \Omega v^2 \quad (7)$$

Факторы, влияющие на неустановившееся движение ЛТЕ – это скорость, ускорение и размеры ЛТЕ. Дополнительное нестационарное сопротивление возникает из-за интенсивного вихреобразования на смоченной поверхности и за кормой и состоит из вихревого сопротивления и сопротивления формы, которые зависят от вязкости жидкости. Исходя из этого, коэффициент нестационарности является функцией от чисел Рейнольдса и Марчи.

$$\xi_{\text{н}} = f(\text{Re}, \text{Ma}), \quad (8)$$

где $\text{Re} = \frac{vL}{\nu}$ – число Рейнольдса. Критерий подобия, учитывающий силы вязкости;

$\text{Ma} = \frac{L}{v^2} \frac{dv}{dt}$ – число Марчи. Его называют безразмерным ускорением. Число Марчи является разновидностью критерия гомохронности (изменение поля скоростей во времени).

L – линейный размер;

ν – кинематический коэффициент вязкости воды.

В результате получены значения сопротивления не стационарности $\Delta R_{\text{нест}}$ и коэффициента $\xi_{\text{н}}$ для всех моделей, при различном отношении h/T в исследуемом диапазоне скоростей.

На рисунках 1, 2 представлены примеры результатов вычислений $\Delta R_{\text{нест}}$ и $\xi_{\text{н}}$.

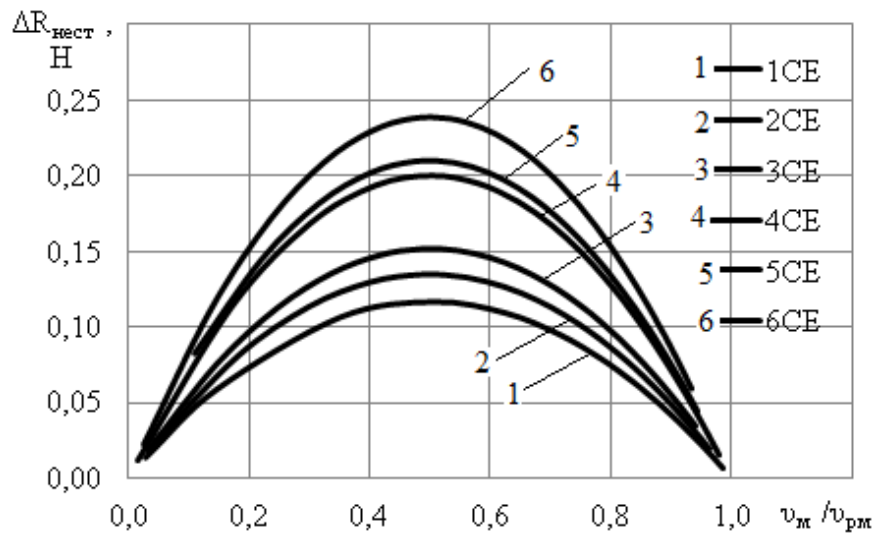


Рисунок 1 – Графики зависимости $\Delta R_{\text{нест}} = f(v_m/v_{\text{рм}})$ для соотношения $h/T=7$ и средней скорости равномерного движения $v=0,3$ м/с

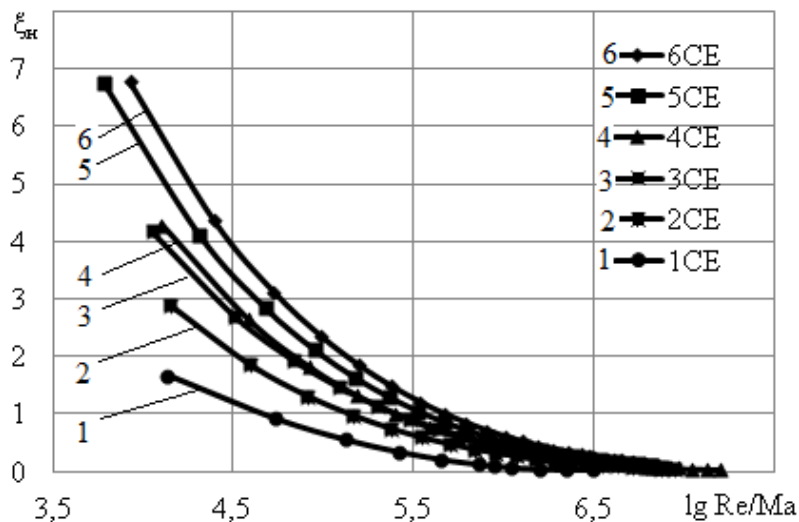


Рисунок 2 – Графики зависимости $\xi_{\text{н}} = f(\lg \text{Re}/\text{Ma})$ для соотношения $h/T = 7$ и средней скорости равномерного движения $v = 0,3$ м/с

На графике по оси абсцисс, следуя выражению (8), отложены значения логарифмов отношения числа Рейнольдса к числу Марчи:

$$\lg \frac{\text{Re}}{\text{Ma}} = \lg \frac{\frac{vL}{v}}{\frac{L}{v^2} \frac{dv}{dt}} = \lg \frac{v^3}{v \frac{dv}{dt}} \quad (9)$$

Важным фактом является то, что значение коэффициента $\xi_{\text{н}}$ при $\lg \text{Re}/\text{Ma} > 6,5$ ($v_m/v_{\text{рм}} > 0,5$), становятся пренебрежимо малыми, а значения сопротивления нестационарности приближается к значениям сопротивления при равномерном движении.

Полученные коэффициенты позволяют рассчитать значения сопротивления нестационарности, необходимые для определения сопротивления разгона.

Список литературы

1. Суров Г.Я., Ватлина Я.В., Шарова Т.М. Сплоточная единица // Патент России № 115769. 2012 Бюл. № 13.
2. Мануковский А. Ю., Шадрина Я.В. Гидродинамическое сопротивление лесотранспортных единиц новой конструкции // Resources and Technology. 2024. №4, Т. 21. С. 150–164.
3. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография / - Архангельск, 2007. - 492 с.

References

1. RF Patent no. 115769, MPK B 65 G 69/20. The rafting unit / Surov G.Ya., VatlinaYa.V., Sharova T.M./ Published 10.05.2012, no.13.
2. Manukovsky A.Yu., Shadrina Ya.V. Hydrodynamic resistance of the logs rafting units new construction // Resources and Technology. 2024. №4, Vol.21. pp. 150-164
3. Mitrofanov A.A. Timber rafting. New technolo-gies, scientific and technical support: monogra-phy. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007, 492 p.