

УДК 634\*378.33

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗГОНУ МОДЕЛЕЙ ЛИНЕЕК ИЗ ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ**

© *Д.А. Штаборов, ассист.*

*В.А. Барабанов, канд. техн. наук, доц.*

*В.Л. Рымашевский, канд. техн. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: d.shtaborov@narfu.ru

Знания особенностей гидродинамического и инерционного взаимодействия линеек из плоских сплottedных единиц с потоком жидкости при неустановившемся движении необходимы для разработки современных технологий навигационной сплотки лесоматериалов по малым и средним рекам.

Исследование инерционных процессов движения линеек в различных режимах (в частности – в период разгона) необходимо для правильного выбора средств буксировки и перестановки линеек, конструкций плотостоянок и их крепления, а также эффективного проведения технологических и транспортных расчетов по навигационной сплотке линеек.

Для этого разработана методика и выполнены экспериментальные исследования инерционных характеристик линеек из плоских сплottedных единиц. По результатам исследования установлены зависимости мгновенных значений пути, скорости, ускорения и коэффициента нестационарности от времени и безразмерной скорости. Рассчитана нестационарная часть сопротивления движению модели линейки. С учетом допущения о природе сопротивления, как преимущественно сопротивлению формы, рассчитан коэффициент нестационарной части сопротивления. Конечные результаты экспериментальных исследований по разгону моделей линеек представлены в виде зависимостей коэффициента нестационарности от геометрических характеристик моделей.

Полученные результаты дают возможность рассчитать коэффициент нестационарности, который по своей сути является функцией не менее пяти взаимозависимых величин на любом участке разгона линейки.

Выражения для определения коэффициентов, полученные в безразмерном виде, могут непосредственно применяться для натуральных условий при буксировке линеек по малым и средним извилистым рекам с недостаточными глубинами.

*Ключевые слова:* плоская сплottedная единица, коэффициент нестационарности, скорость, ускорение, безразмерная скорость.

Для разработки современных технологий навигационной сплотки лесоматериалов по малым и средним рекам необходимо знать особенности гидродинамического и инерционного взаимодействия линеек из плоских сплottedных единиц (ПСЕ) с потоком жидкости при неустановившемся движении.

Цель нашей работы – исследование инерционных процессов движения линеек из ПСЕ в различных режимах (в частности – в период разгона) для правильного выбора средств буксировки и перестановки линеек из ПСЕ, конструкции плотостоянок и их крепления, а также эффективного выполнения технологических и транспортных расчетов по навигационной сплотке.

Методика проведения исследований инерционных характеристик линеек из ПСЕ и описание оборудования опытового бассейна приведены в работах [4, 5]. Точность полученных опытных данных оценивали по скорости равномерного движения  $v_{p,m}$  моделей линеек из ПСЕ. При этом получены среднее квадратичное отклонение  $S_v = 0,045...0,537$  см/с, коэффициент вариации  $\varphi = 0,140...1,908$  %, средняя ошибка среднего арифметического  $S_{v_m} = 0,02...0,24$  см/с для уровня значимости  $q = 0,05$  в пределах точности  $P = 0,063...0,853$  %.

В данной статье приведены лишь результаты исследований по разгону моделей линеек из ПСЕ.

При обработке результатов исследований рассчитан коэффициент нестационарности [1–3]:

$$n = \frac{\lambda_m + M_b \pm \Delta R_{\text{нест}} / \frac{dv_m}{dt}}{M_d},$$

где  $\lambda_m$  – присоединенная масса, кг;

$M_b$  – масса воды, заполняющей пустоты внутри линейки, кг;

$\Delta R_{\text{нест}}$  – дополнительное сопротивление, вызванное нестационарностью движения, Н;

$\frac{dv_m}{dt}$  – ускорение движения модели, м<sup>2</sup>/с;

$M_d$  – масса древесины модели линейки ПСЕ, кг.

Коэффициент нестационарности  $n$  учитывает совокупное влияние взаимодействия линейки из ПСЕ с  $M_b$ ,  $\lambda_m$  и  $\Delta R_{\text{нест}}$ .

При расчете коэффициента нестационарности для случая разгона моделей использовали выражение

$$n = \frac{P_m - av_m^b}{M_d \frac{dv_m}{dt}} - 1,$$

где  $P_m$  – усилие буксировки моделей, Н;

$a, b$  – коэффициенты.

Отсюда при известных значениях  $M_b$ ,  $a$ ,  $b$  и  $M_d$ , а также мгновенных скоростей и ускорений рассчитывали коэффициент  $n$  в каждой фиксированной точке пути модели.

Полученные экспериментально значения мгновенных скоростей и ускорений аппроксимированы выражениями вида [3]:

$$v_m = v_{p,m} - a_v e^{-qt}, \quad (1)$$

$$\frac{dv_M}{dt} = a_a e^{-qt}, \quad (2)$$

где  $a_a, a_v, q$  – параметры эмпирических формул;  
 $t$  – время, с.

Параметры формул (1) и (2) рассчитаны методом наименьших квадратов. Пример обработки результатов опыта А1021 приведен в виде графиков на рис.

1, из которого видно, что зависимость  $n = f\left(\frac{v_M}{v_{p.M}}\right)$  практически линейная:

$$n = 0,12 \frac{v_M}{v_{p.M}} + 1,06.$$

По данным обработки можно отметить отсутствие в принятых координатах зависимости коэффициента  $n$  от конечной скорости разгона  $v_{p.M}$  для всех моделей.

Принимая во внимание вывод о практически постоянном значении  $\lambda_M + M_B$  в каждом конкретном опыте, подсчитываем нестационарную часть сопротивления движению модели  $\Delta R_{\text{нест}}$  для разных значений безразмерной скорости  $\frac{v_M}{v_{p.M}}$

по формуле [2]:

$$\Delta R_{\text{нест}} = M_d (n - n_0) \frac{dv_M}{dt}.$$

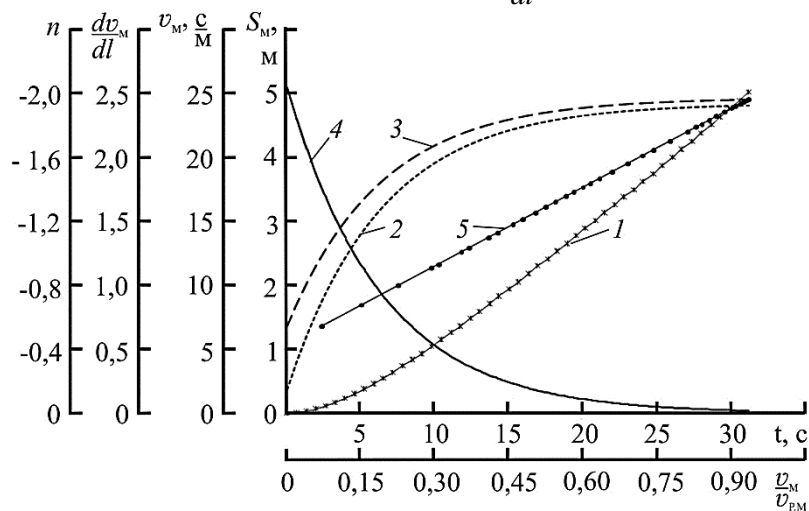
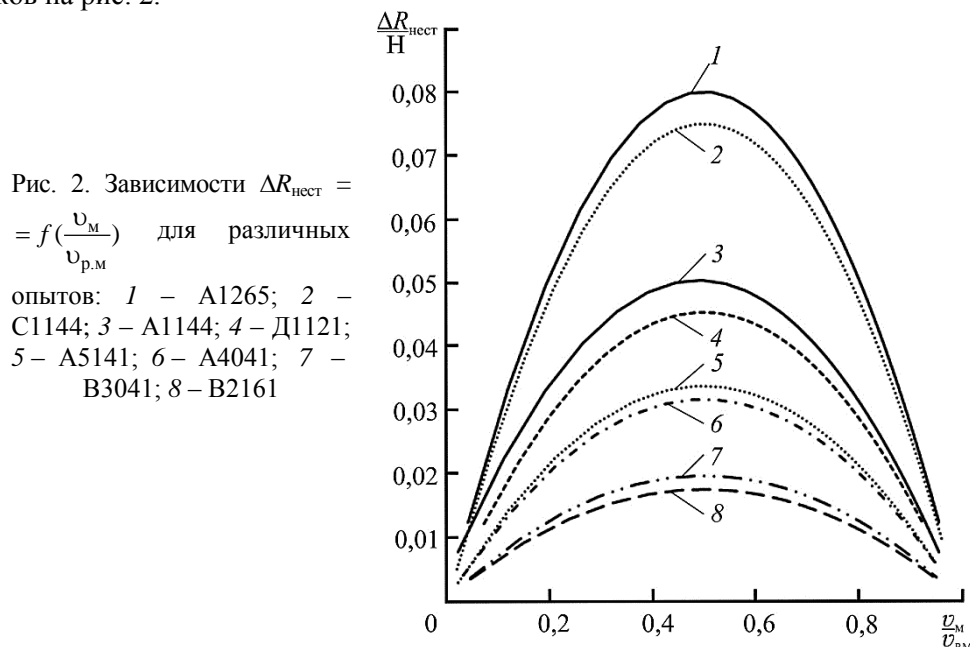


Рис. 1. Зависимость мгновенных значений пути  $S_M$  (1), скорости  $v_M$  (2), коэффициента  $n$  (3), ускорения  $\frac{dv_M}{dt}$  (4) от времени  $t$  и коэффициента  $n$  от безразмерной скорости  $\frac{v_M}{v_{p.M}}$  для опыта А1021

Результаты вычислений  $\Delta R_{\text{нест}}$  для ряда опытов приведены в виде графиков на рис. 2.



По приведенным графикам можно сделать вывод, что определяющее влияние на  $\Delta R_{\text{нест}}$  оказывает ширина модели линейки  $B_M$  из ПСЕ.

Следует отметить, что  $\Delta R_{\text{нест}}$  получились различными по величине, но концы графиков направлены к значениям безразмерной скорости  $v_M/v_{p.M} = 0$  и к 1. Это можно объяснить тем, что когда тело относительно потока жидкости неподвижно (ускорение отсутствует), инерционные силы и сопротивление  $\Delta R_{\text{нест}}$  равны нулю. То же самое и при  $\frac{v_M}{v_{p.M}}$  близком к единице, так как в этом

случае ускорение настолько мало, что уже не может иметь существенного влияния на характер взаимодействия моделей с потоком.

Для расчета нестационарной части сопротивления использовали следующую формулу [2]:

$$\Delta R_{\text{нест}} = \xi_n \frac{\rho}{2} F_x v_M^2,$$

где  $\xi_n$  – безразмерный коэффициент;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$F_x$  – характерная площадь, м<sup>2</sup>.

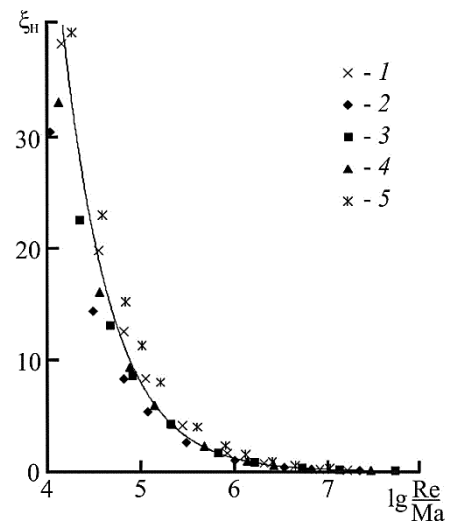
Так как для линеек из ПСЕ доля волнового сопротивления незначительна, то допускаем, что сопротивление  $\Delta R_{\text{нест}}$  по своей природе является преимущественно сопротивлением трения или формы. Приняв за характер-

ную площадь  $F_x$  произведение ширины  $B_m$  на осадку  $T_m$ , рассчитали безразмерный коэффициент нестационарной части сопротивления  $\xi_n$ . Результаты вычислений приведены в виде графиков на рис. 3, где по оси абсцисс отложены значения логарифмов отношения числа Рейнольдса к числу Марчи [2]:

$$\lg \frac{Re}{Ma} = \lg \frac{v_M^3}{v \frac{dv_M}{dt}},$$

где  $v$  – коэффициент кинематической вязкости воды,  $m^3/c$ .

Рис. 3. Зависимость  $\xi_n = f(\lg \frac{Re}{Ma})$  для различных опытов: 1 – В2021; 2 – А5025; 3 – А1025; 4 – В2023; 5 – В5225



Зависимость  $\xi_n = f(\lg \frac{Re}{Ma})$  при достоверной аппроксимации  $R^2 = 0,98$  имеет следующий вид:

$$\xi_n = 97439e^{-1,931 \lg \frac{Re}{Ma}}.$$

Конечные результаты экспериментальных исследований разгона моделей леек из ПСЕ представлены в виде зависимостей коэффициента  $n$  от геометрических характеристик моделей леек.

Полученные для всех моделей зависимости  $n = f(\frac{v_M}{v_{p,m}})$  аппроксимированы линейными уравнениями

$$n = n_1 + n_2 \frac{v_M}{v_{p,m}}, \tag{3}$$

где  $n_1, n_2$  – параметры эмпирических формул.

Как уже отмечалось выше, сопротивление  $\Delta R_{\text{нест}}$  главным образом зависит от ширины линейки  $B_M$  из ПСЕ, а присоединенная масса  $\lambda_M$  и масса воды  $M_B$  – в большей степени от объема и формы погруженной части линейки из ПСЕ. Поэтому коэффициенты  $n_1$  и  $n_2$  в выражении (3) являются функцией от параметра  $k$  (4), представляющего собой сочетание этих величин:

$$k = \frac{B_M}{\sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{д}}}{\rho} B_M L_M T_M}}; \quad (4)$$

$$n_1 = f(k); n_2 = f(k). \quad (5)$$

Полученные для моделей линеек из ПСЕ расчетные формулы определения коэффициентов  $n_1$  и  $n_2$  в выражении (5) имеют следующий вид:

$$n_1 = 0,17k - 0,08; \quad (6)$$

$$n_2 = 0,16k + 0,94. \quad (7)$$

Линейность зависимостей (6) и (7) подтверждается графиками, представленными на рис. 4.

Полученные результаты дают возможность рассчитать на любом участке разгона линейки из ПСЕ коэффициент нестационарности  $n$ , который по своей сути является функцией не менее пяти взаимозависимых величин, объединенных в параметр  $k$ .

Выражения для определения коэффициентов  $n_1$  и  $n_2$ , полученные в безразмерном виде, могут непосредственно применяться для натуральных условий.

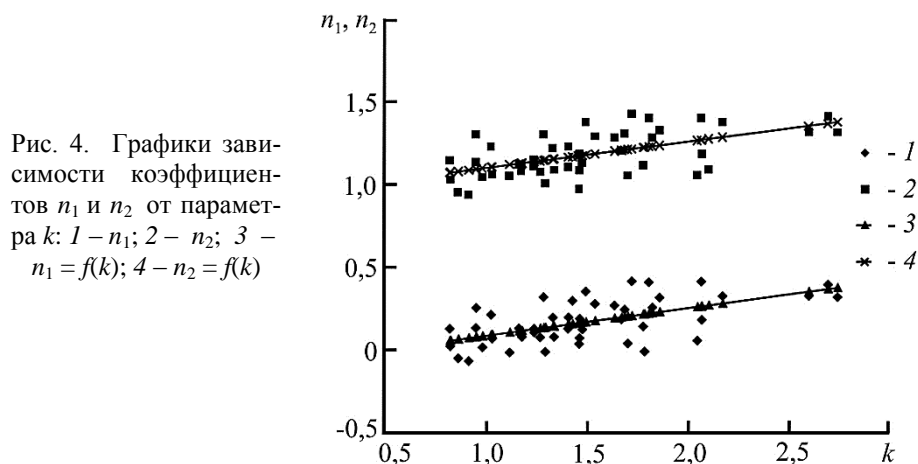


Рис. 4. Графики зависимости коэффициентов  $n_1$  и  $n_2$  от параметра  $k$ : 1 –  $n_1$ ; 2 –  $n_2$ ; 3 –  $n_1 = f(k)$ ; 4 –  $n_2 = f(k)$

Приведенную методику можно использовать для линеек из ПСЕ длиной 13,0...44,0 м, шириной 4,5...6,0 м, осадкой 0,2...1,0 м с коэффициентом полндревесности 0,42...0,49 при буксировке по малым и средним извилистым рекам с недостаточными глубинами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войткунский Я.И.* Соппротивление воды движению судов. Л.: Судостроение, 1964. 412 с.
2. *Митрофанов А.А.* О точности расчета инерционных характеристик плотов по разным методикам // Лесн. журн. 2005. № 6. С. 48–56. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Митрофанов А.А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: моногр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
4. *Перфильев П.Н., Штаборов Д.А.* Проблемы лесосплава и методика исследований гидродинамических и инерционных характеристик линеек из плоских сплотовых единиц // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы IV всеросс. научн.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. Ч. 2. С. 46–49.
5. *Штаборов Д.А., Митрофанов А.А.* Обоснование методики исследований инерционных характеристик линеек из плоских сплотовых единиц // Современная наука и образование в решении проблем экономики Европейского Севера: материалы междунар. научн.-техн. конф., посвященной 80-летию АЛТИ-АГТУ. Архангельск: АГТУ, 2009. С. 58–62.

Поступила 05.06.12

**Results of the Experimental Data Analysis of the Flat Rafting Units Assemblies Acceleration**

*D.A. Shtaborov, Teaching Assistant*

*V.A. Barabanov, Candidate of Engineering*

*V.L. Rymashevski, Candidate of Engineering, Associate Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia  
E-mail: d.shtaborov@narfu.ru

Knowledge of specificity of the hydrodynamic and inertial interaction between the flat rafting units lines and a fluid flow during nonstationary current is necessary for engineering of navigation rafting state-of-the-art technology at small and medium rivers.

Research of the inertial moving processes of the units at the various regimes (specifically – during acceleration) is necessary for correct choice of facilities for tugging and transposition of the units and proper design of raft moorages. Besides that, this information allows to increase correctness of the technological and traffic calculations concerning the navigational rafting of the lines.

The technique of experimental studies of inertial features (acceleration) of the lines was developed for this. By the research results, following dependencies have been derived: instantaneous value of a route, velocity, acceleration, coefficient of nonstationarity, by the time and dimensionless velocity.

The nonstationary member of the tractive resistance of the line model, was computed. Taking into account an assumption of the character of resistance, as a shape

based one, the coefficient of a resistance transient part, has been designed. The final results of the experimental studies of the lines acceleration are presented in a form of dependence of nonstationarity coefficient, on the geometric characteristics of the FRU lines models.

The findings allow to compute the nonstationarity coefficient, which inherently is a function of at least five interdependent values, at any section of a line acceleration, on the base of the features of a line, combined in a parameter.

The formulas for deriving the coefficients, obtained in a dimensionless form, may be applied directly for full-size conditions during towing of the lines at the small and medium shallow rivers.

*Keywords:* flat rafting units, coefficient of nonstationary, velocity, acceleration, dimensionless velocity.

#### REFERENCES

1. Voytkunskiy Ya.I. *Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov* [Water Resistance to Vessel Moving]. Leningrad, 1964. 412 p.
2. Mitrofanov A.A. O tochnosti rascheta inertsiionnykh kharakteristik plotov po raznym metodikam [On Calculation Accuracy of Raft Inertial Characteristics Based on Different Methods]. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 6, pp. 48–56.
3. Mitrofanov A.A. *Lesosplav. Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie* [Timber Floating. New Technologies, Scientific and Technical Provisions]. Arkhangelsk, 2007. 492 p.
4. Perfil'ev P.N., Shtaborov D.A. Problemy lesosplava i metodika issledovaniy gidrodinamicheskikh i inertsiionnykh kharakteristik lineek iz ploskikh splotochnykh edinits [Problems of the Timber Floating and Research Procedure of the Hydrodynamic and Inertial Characteristics of Flat Rafting Units Lines]. *Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii* [The Youth Scientific Creativity – For The Forest Complex of Russia: Proc. 4th All-Russian Sci. and Tech. Conf.]. Yekaterinburg, 2008. Part 2, pp. 46–49.
5. Shtaborov D.A., Mitrofanov A.A. Obosnovanie metodiki issledovaniy inertsiionnykh kharakteristik lineek iz ploskikh splotochnykh edinits [Vindication of the Research Procedure of Flat Rafting Units Lines Inertial Characteristics]. *Sovremennaya nauka i obrazovanie v reshenii problem ekonomiki evropeyskogo severa. Materialy mezhdunarodnoy nauchn.-tekhn.konf., posvyashchennoy 80-letiyu ALTI-AGTU* [Contemporary Science and Education in Economics Problem-Solving of the European North: Proc. Int. Sci. and Tech. Conf.]. Arkhangelsk, 2009. pp. 58–62.