

УДК 634.0.378.34

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗГОНА ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ

Суров Г.Я., Ватлина Я.В.

ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: ya.vatlina@narfu.ru, g.y.surov@narfu.ru

Выполнены экспериментальные исследования разгона лесотранспортных единиц (ЛТЕ) в условиях влияния «мелководья». ЛТЕ формировались из 1...6 сплоченных единиц, состоящих из четырех пучков малого объема (до 5 м³), соединенных между собой с помощью крепежных бревен и гибких связей. Исследования проводились на моделях в масштабе 1:20. Соотношение длины ЛТЕ к ее ширине изменялось от 1 до 6. Модели буксировались при поперечном расположении лесоматериалов в диапазоне скоростей 0,1...0,3 м/с. Опыты проводили при соотношении глубины наполнения бассейна к осадке ЛТЕ $h/T = 7...1,6$. Получена зависимость безразмерного коэффициента сопротивления от относительного удлинения ЛТЕ для «глубокой воды» при $h/T = 7$, который возрастает при увеличении удлинения. Получена зависимость безразмерного коэффициента, учитывающего увеличение сопротивления воды движению ЛТЕ на «мелководье». Влияние «мелководья» уменьшается с увеличением отношения глубины к осадке ЛТЕ. Получены линейные зависимости коэффициента нестационарности от безразмерной скорости для ЛТЕ различных удлинений. Этот коэффициент учитывает влияние массы воды, заполняющей пустоты внутри ЛТЕ, присоединенной массы и дополнительного сопротивления, возникающего при неустановившемся движении ЛТЕ. Для расчета коэффициента нестационарности получены зависимости для определения параметров линейных зависимостей. Полученные результаты позволяют определить время и путь разгона при различных удлинениях ЛТЕ.

Ключевые слова: сплоченная единица, экспериментальные исследования, неустановившееся движение, сопротивление воды, коэффициент нестационарности, скорость, масса

THE RESULTS OF THE TIMBER TRANSPORT UNITS ACCELERATION STUDY

Surov G.Y., Vatlina Y.V.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, e-mail: ya.vatlina@narfu.ru, g.y.surov@narfu.ru

Experimental investigations of the timber transport units (TTU) motion in the shallow water conditions were performed. The TTUs were formed from 1...6 raft sections composed of four small volume bundles (up to 5 cubic meters) linked by the means of the fastening logs and flexible couplings. The experiments were carried out at the 1:20 «model-prototype» relationship and at the «depth/model draft» ratios: $h/T = 7,0...1,6$. The «length/beam» ratio of the TTU varied from 1 to 6. The models were towed at velocities of 0,1...0,3 m/sec. Dependence of the dimensionless resistance coefficient on the relative «length/beam» TTU ratio for the «deep water» conditions at $h/T = 7$ was derived. The coefficient of resistance increases proportionally to the «length/beam» ratio. Besides that, increase of the dimensionless resistance coefficient in the «shallow waters» conditions was found out. The «shallow waters» effect declines when the h/T ratio grows up. Linear dependencies of the resistance coefficient on the dimensionless velocity for the TTUs of different «length/beam» ratios were developed. The resistance coefficient takes into account: associated mass, water mass in the TTU hollow space and additional water resistance during the non-stationary motion of the TTU. Linear dependencies for the coefficient of nonstationarity were worked out. The results obtained by the researchers allow to determine the duration and distance of a TTU acceleration at the variable «length/beam» ratios.

Keywords: raft section, experimental investigations, non-stationary motion, water resistance, coefficient of nonstationarity, velocity, mass

Для рек с малыми глубинами предложена сплоченная единица (СЕ), состоящая из четырех пучков малого объема (до 5 м³), соединенных между собой с помощью крепежных бревен и гибких связей [4].

В лаборатории кафедры водного транспорта леса и гидравлики выполнены экспериментальные исследования неустановившегося движения лесотранспортных единиц (ЛТЕ), которые формировались из 1...6 СЕ [2].

Исследования проводили на моделях в масштабе 1:20 при соотношениях глубины наполнения бассейна к осадке ЛТЕ $h/T = 7,0; 5,0; 4,0; 2,7; 1,6$ и длины ЛТЕ к ее ширине $L/B = 1...6$. Моделирование

при этом масштабе надежно с точки зрения масштабного эффекта, что доказано экспериментально на моделях и в натурных условиях [3].

При равномерном движении моделирование выполнено по критерию Фруда в интервале от 0,16 до 0,48, а при неустановившемся – по критериям Фруда и гомохронности. Опыты проведены при числах Рейнольдса $3,1 \cdot 10^4...5,5 \cdot 10^5$.

Модели буксировались при поперечном расположении лесоматериалов в диапазоне скоростей 0,1...0,3 м/с.

Движение моделей фиксировалось бесконтактным оптическим датчиком оборотов. Датчик обеспечивал формирование

импульсов, частота повторений которых пропорциональна частоте прохождения тахометрических меток, нанесенных на вращающийся блок со светоотражающим покрытием. Изменение частоты импульсов по времени фиксировалось на компьютере с помощью программы Zet Panel.

Надежное транспортирование ЛТЕ возможно при условии их управляемости. Это особенно важно в речных условиях при расхождении со встречными караванами на поворотах и участках со свальным течением. Управляемость ЛТЕ обеспечивается при достижении скорости буксировки в натурных условиях относительно потока 0,4...0,9 м/с. При выполнении технологических расчетов переместительных операций с ЛТЕ необходимо знать время и путь разгона ЛТЕ до скорости, при которой обеспечивается их управляемость.

Дифференциальное уравнение разгона ЛТЕ из состояния покоя [5]:

$$M_d(1+n)\frac{dv}{dt}=P-R, \quad (1)$$

где M_d – масса ЛТЕ, кг; n – коэффициент нестационарности, учитывающий влияние массы воды M_B , заполняющей пустоты внутри ЛТЕ, присоединенной массы λ и дополнительного сопротивления $\Delta R_{\text{нест}}$, возникающего при неустановившемся движении

ЛТЕ; $\frac{dv}{dt}$ – ускорение движения ЛТЕ, м/с²;

P – усилие буксировки ЛТЕ, Н; R – сопротивление воды равномерному движению ЛТЕ, Н;

$$R=\nu r_p^2; \quad (2)$$

r – приведенное сопротивление воды движению ЛТЕ, Н·с²/м²;

$$r=ck\Omega\frac{\rho}{2}; \quad (3)$$

c – коэффициент сопротивления; k – коэффициент, учитывающий влияние «мелководья»; Ω – характерная площадь (площадь сечения по миделю $B \times T$), м²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; ν_p – скорость равномерного движения, м/с.

Для каждой модели получены квадратичные зависимости силы сопротивления воды равномерному движению лесотранспортных единиц от скорости движения модели.

Сопротивление неустановившемуся поступательному движению лесотранспортных единиц представлено как сопротивление воды равномерному движению лесотранспортных единиц и дополнительное сопротивление, возникающее при неустановившемся движении.

Получена зависимость $c=f(L/B)$ для «глубокой воды» при $h/T=7$ (рис. 1) (коэффициент корреляции 0,973):

$$c=0,136\frac{L}{B}+0,943. \quad (4)$$

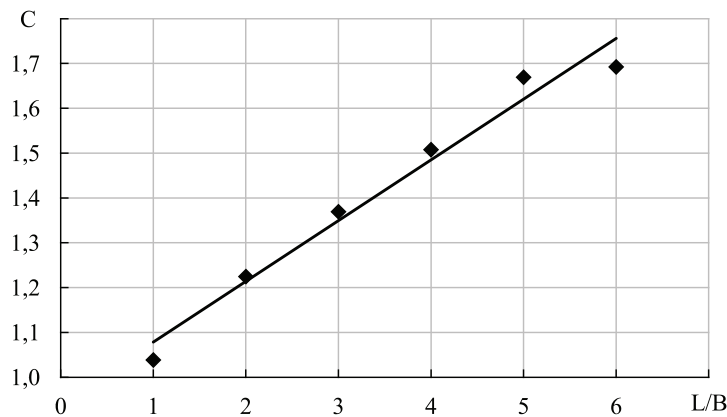


Рис. 1. Зависимость $c=f(L/B)$

По результатам обработки опытов получена зависимость $k=f(h/T)$ (рис. 2) (корреляционное отношение 0,932).

$$k=0,013\left(\frac{h}{T}\right)^2-0,180\frac{h}{T}+1,632. \quad (5)$$

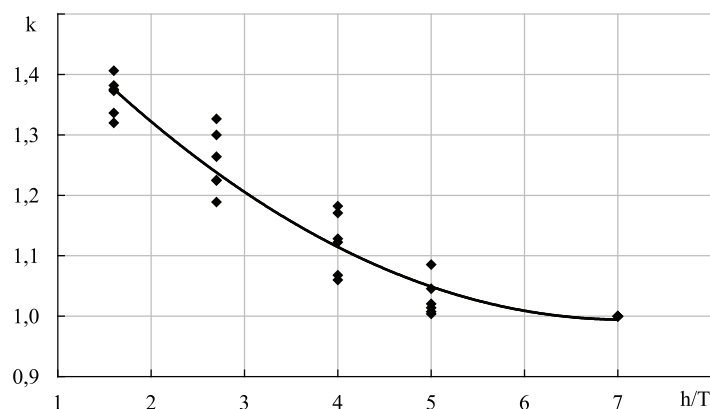
При обработке результатов опытов по разгону моделей получили зависимо-

сти скорости и ускорения модели от времени вида:

$$v=v_p-a_v e^{-qt};$$

$$\frac{dv}{dt}=a_a e^{-qt},$$

где a_v , a_a , q – параметры, определяемые экспериментально.

Рис. 2. Зависимость $k = f(h/T)$

По результатам исследований разгона ЛТЕ при соотношениях $L/B = 1 \dots 6$ и $h/T = 1,6 \dots 7,0$ получены значения коэффициента n [1].

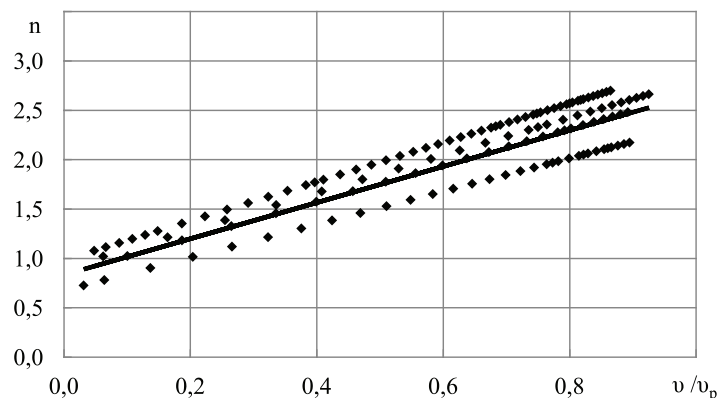
Полученные зависимости аппроксимированы уравнениями вида

$$n = n_1 + n_2 \frac{v}{v_p}, \quad (6)$$

где n_1, n_2 – параметры эмпирической формулы; $\frac{v}{v_p}$ – относительная скорость.

На рис. 3 приведены значения зависимости $n = f\left(\frac{v}{v_p}\right)$, при достижении скорости

равномерного движения ЛТЕ в натуральных условиях $v_p = 0,45 \dots 1,2$ м/с и соотношениях $L/B = 3$ и $h/T = 7$ (коэффициент корреляции 0,842). Зависимости вида (6) получены проф. Митрофановым А.А. для пучковых сортиментных плотов [3].

Рис. 3. Зависимость $n = f\left(\frac{v}{v_p}\right)$ при соотношениях $L/B = 3$ и $h/T = 7$

На рис. 4, 5 приведены зависимости $n_1 = f(L/B)$ и $n_2 = f(L/B)$ при $h/T = 1,6 \dots 7,0$. В результате получены расчетные формулы

для определения параметров n_1 и n_2 (корреляционное отношение 0,856 и 0,811 соответственно):

$$n_1 = 0,01 \left(\frac{L}{B}\right)^4 - 0,19 \left(\frac{L}{B}\right)^3 + 1,23 \left(\frac{L}{B}\right)^2 - 3,70 \frac{L}{B} + 5,02; \quad (7)$$

$$n_2 = 0,01 \left(\frac{L}{B}\right)^4 - 0,17 \left(\frac{L}{B}\right)^3 + 1,12 \left(\frac{L}{B}\right)^2 - 3,38 \frac{L}{B} + 5,67. \quad (8)$$

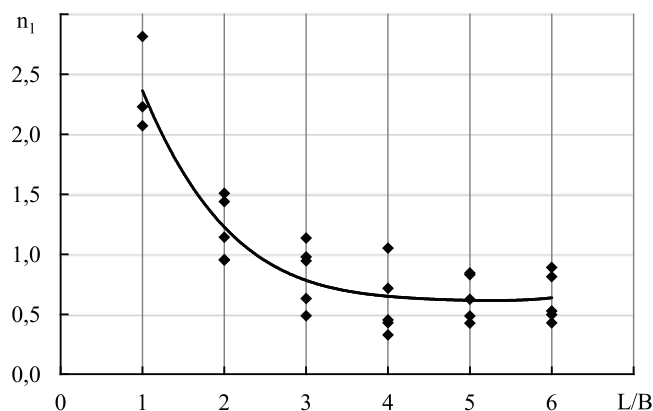


Рис. 4. Зависимость $n_1 = f(L/B)$

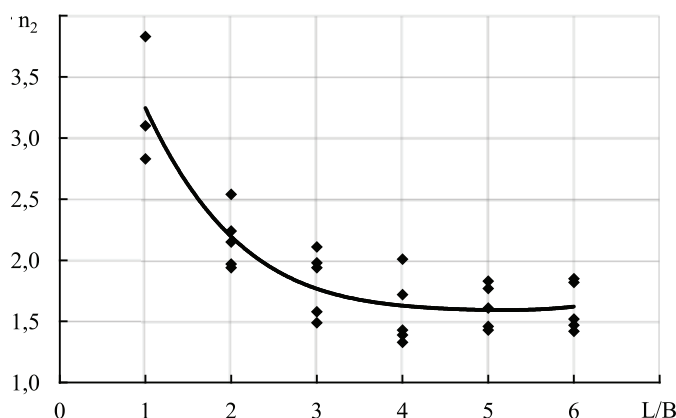


Рис. 5. Зависимость $n_2 = f(L/B)$

В результате исследований получены зависимости для определения параметров n , c и k , позволяющие определить сопротивление воды равномерному движению, а также время и путь разгона ЛТЕ из состояния покоя до скорости, при которой обеспечивается их управляемость, при различных условиях эксплуатации. Можно решать и другие задачи, например найти необходимую силу разгона для достижения той или иной скорости движения ЛТЕ, близкой к равномерной за определенное время.

Список литературы

1. Ватлина Я.В., Суров Г.Я. Результаты исследования сопротивления воды движению лесотранспортных единиц // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2014. – № 2. – С. 52–60.
2. Ватлина Я.В., Шарова Т.М. Исследование сопротивления воды движению лесотранспортных единиц // Экология и жизнь: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2012. – С. 91–96.
3. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. – 492 с.
4. Патент № 115769, РФ, МПК В 65 G 69/20. Сплоточная единица / Г.Я. Суров, Я.В. Ватлина, Т.М. Шарова. – Опубл. 10.05.12, Бюл. № 13.
5. Федяевский К.К., Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И. Гидромеханика: учебник. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1968. – 568 с.: ил.

References

1. Vatlina Ya.V., Surov G.Ya. *Rezultaty issledovaniya soprotivleniya vody dvizheniyu lesotransportnykh yedinit* [The results of the water resistance to the timber transport units motion]. Bulletin of higher education institutions. Lesnoy Zhurnal. NARFU Publ. 2014. no. 2. pp. 52–60.
2. Vatlina Ya.V., Sharova T.M. *Issledovaniye soprotivleniya vody dvizheniyu lesotransportnykh yedinit* [The water resistance to the timber transport units motion]. Proc. Ecology and Life / Penza, Privolzhskiy dom znaniy, 2012. pp. 91–96.
3. Mitrofanov A.A. *Lesospay. Noviyе tekhnologii, nauchnoye i tekhnicheskoye obespecheniye: monografiya* [Timber floating. New technologies, scientific and technical provisions: Monograph]. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2003. 492 p.
4. RF Patent no. 115769, MPK B 65 G 69/20. *Splotoch-naya yedinita* [The rafting unit] / Surov G.Ya., Vatlina Ya.V., Sharova T.M. / Published 10.05.2012, no. 13.
5. Fedyaevskiy K.K., Voytkunskiy Ya.I., Fadeyev Yu.I. *Gidromekhanika* [Hydromechanics]. L., Shipbuilding Publ., 1968. 568 p.

Рецензенты:

Копейкин А.М., д.т.н., профессор кафедры лесопильно-строгальных производств, ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск;
 Мясищев Д.Г., д.т.н., профессор кафедры транспортных машин, ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск.

Работа поступила в редакцию 01.10.2014.