DOI: 10.12737/4513
УДК 630*378.33

ОСОБЕННОСТИ ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТОВ СО СПЛОТОЧНЫМИ ЕДИНИЦАМИ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАВУЧЕСТИ

кандидат технических наук, инженер **В. В. Васильев**[1]
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии **С. М. Гоптарев**[2]
заведующий кафедрой электротехники и автоматики, доктор технических наук, профессор **Д. Н. Афоничев**[3]
1 – ОКУ «Красногвардейское лесничество» Управления лесами Белгородской области
2 – ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»
3 – ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»
vasiliev.vova2012@yandex.ru, serg-goptarev@mail.ru, dmafonichev@yandex.ru

Использование при сплаве лесоматериалов усовершенствованных сплоточных единиц [1, 2, 3, 4, 5, 6], каждая из которых может обертываться в гибкий водонепроницаемый материал, а также плота [1, 7, 8], включающего сплоточные единицы стабилизированной плавучести, который в настоящее время считается наиболее экологически безопасный [1], требует знания инерционных показателей лесотранспортных единиц. В работах [1, 8] представлены инерционные характеристики плота, включающего сплоточные единицы стабилизированной плавучести, где применялась постоянная искусственная сила (разгона, торможения), но не были изучены инерционные характеристики плота при свободном движении в жидкости (при допущении действия сил природного характера), то есть без применения искусственных сил. На основании сказанного, рассмотрим подробно инерционные характеристики экологически безопасного плота, включающего сплоточные единицы стабилизированной плавучести, при свободном движении его в жидкости.

Свободное движение плота наблюдается в речном потоке, когда за счет силы течения происходит разгон плота до скорости реки (свободный разгон), в неподвижной жидкости, когда за счет сопротивления жидкости движению плота происходит его торможение (свободное торможение). Также свободное движение плота присутствует в речном потоке, когда плот за счет сопротивления движению снижает свою скорость от скорости буксировки до скорости речного потока, то есть происходит свободное торможение.

Движение плота в жидкости можно описать общим дифференциальным уравнением следующего вида [1]

$$\left(M_{ДПск} + M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{dv}{dt} = \pm r_c\left(v - v_П\right)^2 \pm \pm F_T + R_i \pm R_в, \quad (1)$$

где $M_{ДПск}$ – масса древесины, коры, сплоточного и формировочного такелажа и дополнительного оснащения в части плота со сплоточными единицами стабилизированной плавучести, кг;

$M_{ДПок}$ – масса древесины, коры, сплоточного и формировочного такелажа и дополнительного оснащения в части плота со сплоточными единицами обычной конструкции, кг;

$\tilde{n}$ – коэффициент нестационарности движения;

r_c – приведенное сопротивление плота, кг/м;

v – техническая скорость плота, м/с;

$v_П$ – скорость потока, м/с;

$F_Т$ – постоянная сила (разгона), прикладываемая к плоту, Н;

R_i – сила влечения плота от уклона, Н;

$R_в$ – сопротивление воздушной среды, Н.

В дифференциальном уравнении (1) коэффициент нестационарности движения $\tilde{n}$ при разгоне и торможении плота определяется по-разному, методика определения приведена в работах [1, 8, 9], а знак «+» или «–» принимается в зависимости от того, куда направлена сила и какую функцию в данное время она выполняет. При этом приведенное сопротивление плота r_c, сила влечения плота от уклона R_i и сопротивление воздушной среды $R_в$ определяются по известным формулам, которые приведены в работах [1, 9].

В случае движения лесотранспортной единицы в речном потоке, когда за счет силы течения происходит разгон плота до скорости реки (свободный разгон), дифференциальное уравнение (1) примет вид

$$\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{dv}{dt}=r_c\left(v_П-v\right)^2+ \\ +R_i\pm R_в. \quad (2)$$

Используя уравнение (2), выразим время движения плота

$$t=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot \\ \cdot\frac{1}{r_c}\int\frac{dv}{\left(v_П-v\right)^2+\left(\sqrt{\frac{R_i\pm R_в}{r_c}}\right)^2}. \quad (3)$$

Решив уравнение (3), получим

$$t=-\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot \\ \cdot\frac{1}{\sqrt{r_c\left(R_i\pm R_в\right)}}arctg\frac{\left(v_П-v\right)\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}+c. \quad (4)$$

Учитывая, что при начальных условиях $t=0$ и $v=0$, постоянная интегрирования c составит

$$c=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot \\ \cdot\frac{1}{\sqrt{r_c\left(R_i\pm R_в\right)}}arctg\frac{v_П\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}. \quad (5)$$

Подставив равенство (5) в выражение (4), получим зависимость для определения продолжительности разгона плота

$$t_{PP}=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{1}{\sqrt{r_c\left(R_i\pm R_в\right)}}\cdot \\ \cdot\left(arctg\frac{v_П\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}-arctg\frac{\left(v_П-v\right)\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}\right). \quad (6)$$

Согласно [1, 8] $\frac{dv}{dt}=v\frac{dv}{ds}$, тогда подставив данное равенство в уравнение (2), выразим путь, необходимый для разгона плота в речном потоке

$$s=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot$$
$$\cdot\frac{1}{r_c}\int\frac{vdv}{\left(v_П-v\right)^2+\left(\sqrt{\frac{R_i\pm R_в}{r_c}}\right)^2}. \qquad (7)$$

Проинтегрировав уравнение (7), получим

$$s=-\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot$$
$$\cdot\frac{v_П}{\sqrt{r_c\left(R_i\pm R_в\right)}}arctg\frac{\left(v_П-v\right)\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}+$$
$$+\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c}\cdot \qquad (8)$$
$$\cdot\ln\left|\left(v_П-v\right)^2+\frac{R_i\pm R_в}{r_c}\right|+c.$$

С учетом того, что при начальных условиях $s=0$ и $v=0$, постоянная интегрирования c будет равна

$$c=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot$$
$$\cdot\frac{v_П}{\sqrt{r_c\left(R_i\pm R_в\right)}}arctg\frac{v_П\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}- \qquad (9)$$
$$-\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c}\ln\left|v_П^2+\frac{R_i\pm R_в}{r_c}\right|.$$

Используя равенство (9), подставив его в зависимость (8), получим зависимость для определения пути разгона плота в речном потоке

$$s_{PP}=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot$$
$$\cdot\left[\begin{array}{l}\frac{v_П}{\sqrt{r_c\left(R_i\pm R_в\right)}}\left(\begin{array}{l}arctg\frac{v_П\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}-\\ -arctg\frac{\left(v_П-v\right)\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_i\pm R_в}}\end{array}\right)+\\ +\frac{1}{2r_c}\ln\left|\frac{r_c\left(v_П-v\right)^2+R_i\pm R_в}{v_П^2r_c+R_i\pm R_в}\right|\end{array}\right]. \qquad (10)$$

При условии движения лесотранспортной единицы в неподвижной жидкости, когда за счет сопротивления жидкости движению плота происходит его торможение (свободное торможение), нелинейное дифференциальное уравнение (1) примет вид

$$\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{dv}{dt}=-r_cv^2+\left(\pm R_в\right). \qquad (11)$$

Когда сила сопротивления воздушной среды $R_в$ направлена в противоположную сторону движения плота, то уравнение (11) запишется следующим образом

$$\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{dv}{dt}=-r_cv^2-R_в. \qquad (12)$$

Из уравнения (12) выразим продолжительность торможения

$$t=-\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot$$
$$\cdot\int\frac{dv}{\left(\sqrt{r_c}\right)^2v^2+\left(\sqrt{R_в}\right)^2}. \qquad (13)$$

Решив зависимость (13), получим

$$t=-\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{\sqrt{R_вr_c}}\cdot$$
$$\cdot arctg\frac{v\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}}+c. \qquad (14)$$

В связи с тем, что торможение плота начинается со скорости буксировки, то начальные условия: $t=0$; $v=v_Б$ (где $v_Б$ – скорость буксировки плота). Таким образом, постоянная интегрирования c составит

$$c=\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{\sqrt{R_вr_c}}arctg\frac{v_Б\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}}. \qquad (15)$$

Используя выражение (15), с последующей подстановкой его в зависимость (14), при условии полной остановки плота

$v=0$, продолжительность торможения плота составит

$$t_{1T}=\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{\sqrt{R_в r_c}}arctg\frac{v_Б\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}}. \quad (16)$$

Так как $\frac{dv}{dt}=v\frac{dv}{ds}$, подставим данное равенство в уравнение (12), выразим путь, необходимый для торможения плота в неподвижной жидкости

$$s=-\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot \cdot\frac{1}{r_c}\int\frac{vdv}{v^2+\left(\sqrt{\frac{R_в}{r_c}}\right)^2}. \quad (17)$$

Проинтегрировав данное выражение, получим

$$s=-\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c}\ln\left|v^2+\frac{R_в}{r_c}\right|+c. \quad (18)$$

При начальных условиях $s=0$ и $v=v_Б$ из зависимости (18) c будет равна

$$c=\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c}\ln\left|v_Б^2+\frac{R_в}{r_c}\right|. \quad (19)$$

Подставив постоянную интегрирования c, в зависимость (18), при условии полной остановки плота $v=0$, путь, требуемый для остановки плота составит

$$s_{1T}=\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c}\ln\left|\frac{v_Б^2 r_c+R_в}{R_в}\right|. \quad (20)$$

В случае, когда сила сопротивления воздушной среды $R_в$ направлена по ходу движения плота, то уравнение (11) примет вид

$$\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{dv}{dt}=-r_c v^2+R_в. \quad (21)$$

Из уравнения (21) выразим продолжительность торможения плота

$$t=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\cdot \cdot\int\frac{dv}{\left(\sqrt{R_в}\right)^2-\left(\sqrt{r_c}\right)^2 v^2}. \quad (22)$$

Решив зависимость (22), получим

$$t=\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2\sqrt{r_c R_в}}\ln\left|\frac{\sqrt{R_в}+v\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}-v\sqrt{r_c}}\right|+c. \quad (23)$$

С учетом того, что при начальных условиях торможения $t=0$ и $v=v_Б$, тогда из равенства (23) c составит

$$c=-\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2\sqrt{r_c R_в}}\ln\left|\frac{\sqrt{R_в}+v_Б\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}-v_Б\sqrt{r_c}}\right|. \quad (24)$$

На основании зависимостей (23) и (24) продолжительность торможения плота в неподвижной жидкости

$$t_{2T}=\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2\sqrt{r_c R_в}}\cdot \cdot\left(\ln\left|\frac{\sqrt{R_в}+v\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}-v\sqrt{r_c}}\right|-\ln\left|\frac{\sqrt{R_в}+v_Б\sqrt{r_c}}{\sqrt{R_в}-v_Б\sqrt{r_c}}\right|\right). \quad (25)$$

В соответствии с тем, что $\frac{dv}{dt}=v\frac{dv}{ds}$, тогда подставив данное равенство в дифференциальное уравнение (21), выразим требуемый путь для торможения плота в неподвижной жидкости

$$s=\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)\frac{1}{r_c}\int\frac{vdv}{\left(\sqrt{\frac{R_в}{r_c}}\right)^2-v^2}. \quad (26)$$

Проинтегрировав зависимость (26), получим следующее выражение

$$s=-\frac{\left(M_{ДПск}+M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c}\ln\left|\frac{R_в}{r_c}-v^2\right|+c. \quad (27)$$

При начальных условиях торможения $s=0$ и $v=v_Б$, тогда из равенства (27) постоянная интегрирования c составит

$$c = \frac{\left(M_{ДПск} + M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c} \ln\left|\frac{R_в}{r_c} - v_Б^2\right|. \quad (28)$$

Подставив постоянную интегрирования c, в зависимость (27), получим выражение для расчета необходимого пути торможения плота в неподвижной жидкости

$$s_{2T} = \frac{\left(M_{ДПск} + M_{ДПок}\left(1+\tilde{n}\right)\right)}{2r_c} \ln\left|\frac{R_в - r_c v_Б^2}{R_в - r_c v^2}\right|. \quad (29)$$

Свободное торможение плота в речном потоке, как правило, наблюдается от момента прекращения работы буксировщика до момента вступления в работу тормозных средств. В результате этого данный процесс наиболее целесообразней рассматривать совместно с процессом торможения плота.

Выводы:

1. На основании дифференциального уравнения движения плота в речном потоке (2), описывающего свободный разгон плота, получили зависимости (6) и (10), с помощью которых можно определить соответственно продолжительность и требуемый путь разгона плота.

2. Полученные дифференциальные уравнения (12) и (21), описывающие свободное торможение плота в неподвижной жидкости, позволили вывести зависимости (16), (25) для определения продолжительности торможения плота и зависимости (20), (29) для определения требуемого пути торможения.

3. Применение на практике представленной методики определения основных инерционных показателей плота при свободном движении позволит выбрать эффективные средства управления плотами, включающими сплоточные единицы стабилизированной плавучести.

Библиографический список

1. Васильев, В. В. Повышение эффективности и экологической безопасности плотового сплава лесоматериалов [Текст] : дис. … канд. техн. наук: 05.21.01: защищена 25.10.13 / В. В. Васильев. – Воронеж, 2013. – 259 с.

2. Афоничев, Д. Н. Сплоточная единица стабилизированной плавучести [Текст] / Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов, В. В. Васильев // Изв. ВУЗов «Лесной журнал». – 2010. – № 6. – С. 114-120.

3. Афоничев, Д. Н. Выбор гибкого водонепроницаемого материала для стабилизации плавучести сплоточных единиц [Текст] / Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов, В. В. Васильев // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 1. – С. 95-99.

4. Пат. 2381949 Российская Федерация, МПК B 63 B 35/62, 35/58. Сплоточная единица [Текст] / Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов, В. В. Васильев ; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2008146180/11 ; заявл. 21.11.2008 ; опубл. 20.02.2010. – Бюл. № 5. – 6 с.

5. Пат. 2456200 Российская Федерация, МПК B 63 B 35/62. Сплоточная единица [Текст] / В. В. Васильев ; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2011108194/11 ; заявл. 02.03.2011 ; опубл. 20.07.2012. – Бюл. № 20. – 6 с.

6. Пат. 2460679 Российская Федерация, МПК B 65 G 69/20, B 65 B 27/10. Пло-

ская сплоточная единица [Текст] / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев ; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2011109353/13 ; заявл. 11.03.2011 ; опубл. 10.09.2012. – Бюл. № 25. – 7 с.

7. Пат. 2475408 Российская Федерация, МПК В 63 В 35/62. Плот [Текст] / Д. Н. Афоничев, В. В. Васильев, Н. Н. Папонов ; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. – № 2011140910/11 ; заявл. 07.10.2011 ; опубл. 20.02.2013. – Бюл. № 5. – 6 с.

8. Васильев, В. В. Обоснование инерционных характеристик плотов, содержащих плоские сплоточные единицы стабилизированной плавучести [Текст] / В. В. Васильев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 2. – С. 107-112.

9. Митрофанов, А. А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение [Текст] : монография / А. А. Митрофанов. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2007. – 492 с.

DOI: 10.12737/4514
УДК 630*523

НОРМАТИВЫ ПО ТАКСАЦИИ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ В СТВОЛАХ И СОРТИМЕНТАХ ИЗ БЕРЕЗЫ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем **Л. С. Ветров**
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
leotax@mail.ru

Исследования по оценке содержания коры проводилось анализом результатов таксации 650 модельных деревьев березы бородавчатой (*Betula verrucosa*), обмеренных на пробных площадях, заложенных в Тосненском, Гатчинском, Киришском, Лодейнопольском районах Ленинградской области.

Программой исследования предусматривалось установить содержание коры в стволах и круглых лесоматериалах, получаемых из березы с целью определения объема отходов при лесозаготовках и переработке древесного сырья (балансовой древесины).

В соответствии с ГОСТом [1] в исследовании была принята длина сортиментов от 4 до 7 м с градацией 1 м.

Объем ствола и каждого сортимента в коре и без коры рассчитывался по сумме объемов секций (метод Губера) и их частей [2]. Затем для каждого ствола и сортимента определялся объем коры.

Определение долевого участия коры в общем объеме отдельных деревьев имеет давнюю историю и ее объем ($V_к$), опреде-