

ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ ВАСИЛЬЕВ

аспирант кафедры транспорта леса и инженерной геодезии
лесоинженерного факультета, Воронежская государствен-
ная лесотехническая академия
vasiliev.vova2012@yandex.ru

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЛОТОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАВУЧЕСТИ

В статье представлены зависимости для расчета эксплуатационных показателей сплоточной единицы стабилизированной плавучести: коэффициента запаса плавучести и осадки. В сплоточных единицах стабилизированной плавучести интенсивность поглощения воды древесиной на ее осадку никакого влияния не оказывает, а коэффициент полнодревесности таких сплоточных единиц способствует снижению осадки.

Ключевые слова: сплоточная единица, коэффициент полнодревесности, осадка, стабилизация плавучести, гибкий водонепроницаемый материал

Сплоточные единицы предназначены для формирования плотов и сплава вольнищай. Основными эксплуатационными показателями сплоточных единиц являются запас плавучести, который определяет сроки нахождения на воде в непотопляемом состоянии, и осадка, предъявляющая требования к глубинам водного пути и регламентирующая возможность использования сплоточных единиц в конкретных условиях плавания.

Анализируя закономерность формирования осадки сплоточной единицы, следует отметить, что на первоначальном этапе сплава она имеет минимальное значение, но с течением времени увеличивается [4]. Это приводит к уменьшению коэффициента запаса плавучести и времени нахождения сплоточной единицы на плаву. Такой процесс особенно неприятен на реках с малыми глубинами, когда не хватает времени для вывода сплоточных единиц на большие глубины и они тонут или садятся на мель на порогах и перекатах. Таким образом, изменение (снижение) коэффициента запаса плавучести с течением времени является одним из недостатков всех сплоточных единиц, в том числе усовершенствованных плоских [3].

Для устранения указанного недостатка предложена конструкция сплоточной единицы стабилизированной плавучести [1], [4], которая также позволяет снизить энергозатраты на буксировку.

Если сплоточная единица включает лесоматериалы повышенной плавучести и ограниченной плавучести, а также гибкий водонепроницаемый материал и сплоточный такелаж, то ее вес G_{CE} , Н составит

$$G_{CE} = g(k_{pp}V_{pp}\rho_{pp} + k_{op}V_{op}\rho_{op} + m_{\Gamma M} + m_{CT}), \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; k_{pp} – коэффициент, учитывающий увеличение массы лесоматериалов повышенной плавучести за счет коры; V_{pp} – объем лесоматериалов повышенной

плавучести, м³; ρ_{pp} – плотность лесоматериалов повышенной плавучести, кг/м³; k_{op} – коэффициент, учитывающий увеличение массы лесоматериалов ограниченной плавучести за счет коры; V_{op} – объем лесоматериалов ограниченной плавучести, м³; ρ_{op} – плотность лесоматериалов ограниченной плавучести, кг/м³; $m_{\Gamma M}$ – масса листа гибкого водонепроницаемого материала, кг; m_{CT} – масса сплоточного такелажа, кг.

Согласно закону Архимеда, выталкивающая сила P равна весу вытесненной жидкости G ($P = G$), следовательно, условие равновесия сплоточной единицы на воде примет вид

$$P = G_{CE} = G. \quad (2)$$

В выражении (2) вес вытесненной жидкости определяется по формуле

$$G = g\rho W_{\Pi}(1 + k_k), \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; W_{Π} – погруженный объем лесоматериалов сплоточной единицы, м³; k_k – коэффициент, учитывающий долю коры от объема лесоматериалов.

При обертывании сплоточной единицы в водонепроницаемый материал пространство между лесоматериалами в погруженной части не заполняется водой, поэтому формула (3) примет вид

$$G = \frac{g\rho W_{\Pi}}{k_{pol}}, \quad (4)$$

где k_{pol} – коэффициент полнодревесности сплоточной единицы.

Из равенства (2) получим следующее выражение:

$$k_{pp}V_{pp}\rho_{pp} + k_{op}V_{op}\rho_{op} + m_{\Gamma M} + m_{CT} = \frac{\rho W_{\Pi}}{k_{pol}}. \quad (5)$$

Используя формулу (5), выразим погруженный объем лесоматериалов сплоточной единицы, который составит

$$W_{\Pi} = \frac{k_{\text{пол}}(k_{\text{пп}}V_{\text{пп}}\rho_{\text{пп}} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}})}{\rho}. \quad (6)$$

Так как $k_{\text{пол}} < 1$, то, согласно формуле (6), погруженный объем лесоматериалов сплотовой единицы уменьшится, следовательно, уменьшится и ее осадка.

Коэффициент запаса плавучести сплотовой единицы составляет [1], [5]

$$K = 1 - \frac{\rho_{\text{СВ}}}{\rho}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{СВ}}$ – средневзвешенная плотность сплотовой единицы, кг/м³.

Средневзвешенная плотность завернутой в гибкий водонепроницаемый материал сплотовой единицы $\rho_{\text{СВ}}$ равна

$$\rho_{\text{СВ}} = \frac{k_{\text{пп}}V_{\text{пп}}\rho_{\text{пп}} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}}}{W}, \quad (8)$$

где W – геометрический объем сплотовой единицы, м³.

$$W = \frac{k(V_{\text{пп}} + V_{\text{оп}})}{k_{\text{пол}}}, \quad (9)$$

где k – коэффициент, учитывающий увеличение геометрического объема сплотовой единицы за счет обертывающего материала и такелажа.

Коэффициент запаса плавучести завернутой в гибкий водонепроницаемый материал сплотовой единицы с учетом формулы (8) составит

$$K = 1 - \frac{k_{\text{пп}}V_{\text{пп}}\rho_{\text{пп}} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}}}{\rho W}. \quad (10)$$

Подставив в формулу (10) выражение (9), получим

$$K = 1 - \frac{k_{\text{пол}}(k_{\text{пп}}V_{\text{пп}}\rho_{\text{пп}} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}})}{k\rho(V_{\text{пп}} + V_{\text{оп}})}. \quad (11)$$

Если не учитывать влияние коры на массу сплотовой единицы, пренебречь влиянием обертывающего материала и такелажа, то $k_{\text{пп}} = k_{\text{оп}} = 1$, $m_{\text{ГМ}} = m_{\text{СТ}} = 0$, $k = 0$, а формула (11) упростится [1].

Анализ формулы (11) показывает, что применение в конструкции сплотовой единицы гибкого материала для ее обертывания по дну и бортам независимо от вида применяемого круглого лесоматериала позволяет увеличить запас плавучести и стабилизировать его за счет исключения водонасыщения лесоматериалов при их контакте с водой.

Определим осадку сплотовой единицы, для чего выразим ее погруженный объем W_{Π} через габаритные размеры – длину L и ширину B , а также осадку T . Для сплотовой единицы, конструкция которой представлена в работах [1], [4], принимаем постоянную ширину по высоте; длина ее ватерлинии $L_{\text{вл}}$ зависит от осадки:

$$L_{\text{вл}} = L - 2B_{\text{пп}} - d_{\text{оп}}(1 - \sin \alpha) + 2T \operatorname{ctg} \alpha, \quad (12)$$

где $B_{\text{пп}}$ – ширина пакета лесоматериалов повышенной плавучести, м; $d_{\text{оп}}$ – диаметр лесоматериалов ограниченной плавучести нижнего ряда, м; α – угол скоса донной части пакета лесоматериалов повышенной плавучести, град.

С достаточной точностью угол скоса донной части пакета лесоматериалов повышенной плавучести можно определить по зависимости

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{H - d_{\text{пп}} - d_{\text{оп}}}{2B_{\text{пп}} - d_{\text{пп}} + d_{\text{оп}}}, \quad (13)$$

где H – высота (толщина) сплотовой единицы, м; $d_{\text{пп}}$ – диаметр лесоматериалов повышенной плавучести, м.

Надо отметить, что зависимость (12) справедлива при величинах осадки меньше значения T_0 ($T < T_0$), равного

$$T_0 = [B_{\text{пп}} + d_{\text{оп}}(1 - \sin \alpha)] \operatorname{tg} \alpha. \quad (14)$$

При принятых условиях погруженный объем W_{Π} сплотовой единицы определяется интегралом

$$W_{\Pi} = kB \int L_{\text{вл}} dT. \quad (15)$$

Интегрирование выполняется при следующем условии: $T < T_0$; $T = 0$; $W_{\Pi} = 0$. Зависимость W_{Π} от T имеет вид

$$W_{\Pi} = kB T \left(L - 2B_{\text{пп}} - d_{\text{оп}}(1 - \sin \alpha) + T \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right). \quad (16)$$

Формула (16) представляет собой квадратное уравнение, определяющее величину осадки. Запишем его в виде

$$aT^2 + bT + c = 0; a = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}; \\ b = L - 2B_{\text{пп}} - d_{\text{оп}}(1 - \sin \alpha); c = -\frac{W_{\Pi}}{kB}. \quad (17)$$

С учетом выражения (6)

$$c = -\frac{k_{\text{пол}}(k_{\text{пп}}V_{\text{пп}}\rho_{\text{пп}} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}})}{kB\rho}. \quad (18)$$

Решение уравнения (17) при $0 < \alpha < 90^\circ$ и $a = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} > 0$

$$T = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (19)$$

При величинах осадки больше значения T_0 , но меньше T_1 ($T_0 < T < T_1$) погруженный объем сплотовой единицы состоит из двух составляющих: объема $W_{\Pi 0}$, соответствующего значению T_0 и определяемого по формуле (16), где $T = T_0$, и объема $W_{\Pi 1}$, соответствующего разности $T = T_0$ и вычисляемого по формуле

$$W_{\pi 1} = kBL(T - T_0). \quad (20)$$

Значение T_1 равно

$$T_1 = H - [B_{\pi \pi} + d'_{op}(1 - \sin \alpha')] \operatorname{tg} \alpha', \quad (21)$$

где d'_{op} – диаметр лесоматериалов ограниченной плавучести верхнего ряда, м; α' – угол скоса верхней части пакета лесоматериалов повышенной плавучести, град. α' определяется по формуле (13) при $d_{op} = d'_{op}$.

Сложив объемы $W_{\pi 0}$ и $W_{\pi 1}$ и приравняв их сумму к правой части выражения (6), после преобразований получим

$$\begin{aligned} T &= \frac{k_{pol}}{kBL\rho} (k_{\pi \pi} V_{\pi \pi} \rho_{\pi \pi} + k_{op} V_{op} \rho_{op} + m_{\pi M} + m_{CT}) - \\ &- \frac{T_0}{L} \left(L - 2B_{\pi \pi} - d_{op}(1 - \sin \alpha) + T_0 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) + T_0. \end{aligned} \quad (22)$$

При величинах осадки больше значения T_1 ($T > T_1$) в погруженный объем сплоточной единицы входят три составляющие: объем $W_{\pi 0}$, соответствующий значению T_0 и определяемый по формуле (16), где $T = T_0$, объем $W_{\pi 1}$, соответствующий разности $(T - T_1)$ и вычисляемый по формуле (20) при $T = T_1$, и объем $W_{\pi 2}$, соответствующий разности $(T - T_1)$ и вычисляемый в зависимости от длины ватерлинии $L_{B,L}$ определяемой выражением

$$L_{B,L} = L - 2(T - T_1) \operatorname{ctg} \alpha'. \quad (23)$$

Обозначим $t = T - T_1$, тогда с учетом (23) определим $W_{\pi 2}$ по формуле

$$W_{\pi 2} = kB \int L_{B,L} dt = kB \int \left(L - 2t \frac{\cos \alpha'}{\sin \alpha'} \right) dt. \quad (24)$$

После интегрирования при условии $t = 0$, $W_{\pi 2} = 0$ получим

$$W_{\pi 2} = kB \left(Lt - t^2 \frac{\cos \alpha'}{\sin \alpha'} \right). \quad (25)$$

Зависимость (25) – квадратное уравнение, которое запишем в виде

$$dt^2 + et + f = 0; d = \frac{\cos \alpha'}{\sin \alpha'}; e = -L; f = \frac{W_{\pi 2}}{kB}. \quad (26)$$

Так как $W_{\pi} = W_{\pi 0} + W_{\pi 1} + W_{\pi 2}$, с учетом зависимостей (6), (16) и (20)

$$W_{\pi 2} = \frac{k_{pol} (k_{\pi \pi} V_{\pi \pi} \rho_{\pi \pi} + k_{op} V_{op} \rho_{op} + m_{\pi M} + m_{CT})}{\rho} - \quad (27)$$

$$- kB T_0 \left(L - 2B_{\pi \pi} - d_{op}(1 - \sin \alpha) + T_0 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) - kB L (T_1 - T_0).$$

Из формулы (27) следует, что

$$f = \frac{k_{pol} (k_{\pi \pi} V_{\pi \pi} \rho_{\pi \pi} + k_{op} V_{op} \rho_{op} + m_{\pi M} + m_{CT})}{\rho kB} - \quad (28)$$

$$- T_0 \left(L - 2B_{\pi \pi} - d_{op}(1 - \sin \alpha) + T_0 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) - L (T_1 - T_0).$$

Решение уравнения (26) при $0 < \alpha' < 90^\circ$ и $d = \frac{\cos \alpha'}{\sin \alpha'} > 0$ после подстановки $t = T - T_1$ выглядит так:

$$T = \frac{-e - \sqrt{e^2 - 4df}}{2d} + T_1. \quad (29)$$

На основании всего сказанного можно сделать вывод, что формирование осадки сплоточных единиц происходит за счет коэффициента полнодревесности, плотности древесины, интенсивности поглощения воды древесиной, а также конструкции и параметров сплоточной единицы. При этом в сплоточных единицах стабилизированной плавучести [1], [4] интенсивность поглощения воды древесиной на осадку сплоточной единицы никакого влияния не оказывает. В то же время коэффициент полнодревесности таких сплоточных единиц способствует снижению осадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афоничев Д. Н., Папонов Н. Н., Васильев В. В. Сплоточная единица стабилизированной плавучести // Известия вузов «Лесной журнал». 2010. № 6. С. 114–120.
2. Митрофанов А. А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
3. Пат. 2043255 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / А. А. Митрофанов, Г. Я. Суров, М. Н. Фоминцев; заявитель и патентообладатель Архангельский ЛТИ. № 4928310/11; заявл. 18.04.1992, опубл. 10.09.1995 г., бюл. № 25.
4. Пат. 2381949 РФ, МПК В 63 В 35/62, 35/58. Сплоточная единица / 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.
5. Справочник по водному транспорту леса / Под ред. В. А. Щербакова. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 384 с.