

ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ ВАСИЛЬЕВ

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

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЛОТОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАВУЧЕСТИ

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

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

Сплотовые единицы предназначены для формирования плотов и сплава вольницей. Основными эксплуатационными показателями сплотовых 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 сплотовых единиц в конкретных условиях плавания.

Анализируя закономерность формирования осадки сплотовой 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 сплотовой единицы на плаву. Такой процесс особенно неприятен на реках с малыми глубинами, когда не хватает времени для вывода сплотовых 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 сплотовых единиц, в том числе усовершенствованных плоских [3].

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

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

$$G_{CE} = g(k_{III}V_{III}\rho_{III} + k_{OP}V_{OP}\rho_{OP} + m_{GM} + m_{CT}), \quad (1)$$

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

плавучести, м³; ρ_{III} – 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_{GM} – масса листа гибкого водонепроницаемого материала, кг; m_{CT} – масса сплотового такелажа, кг.

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

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

В выражении (2) вес вытесненной жидкости определяется по формуле

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

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

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

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

где $k_{ПОЛ}$ – коэффициент полнодревесности сплотовой единицы.

Из равенства (2) получим следующее выражение:

$$k_{III}V_{III}\rho_{III} + k_{OP}V_{OP}\rho_{OP} + m_{GM} + m_{CT} = \frac{\rho W_{II}}{k_{ПОЛ}}. \quad (5)$$

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

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

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

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

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

где $\rho_{св}$ – средневзвешенная плотность сплottedной единицы, кг/м³.

Средневзвешенная плотность завернутой в гибкий водонепроницаемый материал сплottedной единицы $\rho_{св}$ равна

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

где W – геометрический объем сплottedной единицы, м³.

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

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

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

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

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

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

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

Анализ формулы (11) показывает, что применение в конструкции сплottedной 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 сплottedной единицы, для чего выразим ее погруженный объем W_{II} через габаритные размеры – длину L и ширину B , а также осадку T . Для сплottedной единицы, конструкция которой представлена в работах [1], [4], принимаем постоянную ширину по высоте; длина ее ватерлинии $L_{вл}$ зависит от осадки:

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

где B_{III} – ширина пакета лесоматериалов повышенной плавучести, м; $d_{оп}$ – 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

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

где H – высота (толщина) сплottedной единицы, м; d_{III} – диаметр лесоматериалов повышенной плавучести, м.

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

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

При принятых условиях погруженный объем W_{II} сплottedной единицы определяется интегралом

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

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

$$W_{II} = kBT \left(L - 2B_{III} - d_{оп}(1 - \sin \alpha) + T \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right). \quad (16)$$

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

$$aT^2 + bT + c = 0; a = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}; \quad (17)$$

$$b = L - 2B_{III} - d_{оп}(1 - \sin \alpha); c = -\frac{W_{II}}{kB}.$$

С учетом выражения (6)

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

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 сплottedной единицы состоит из двух составляющих: объема W_{II_0} , соответствующего значению T_0 и определяемого по формуле (16), где $T = T_0$, и объема W_{II_1} , соответствующего разности $T = T - T_0$ и вычисляемого по формуле

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

Значение T_1 равно

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

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

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

$$T = \frac{k_{\text{пол}}}{kBL\rho} (k_{\Pi\Pi}V_{\Pi\Pi}\rho_{\Pi\Pi} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}}) - \frac{T_0}{L} \left(L - 2B_{\Pi\Pi} - d_{\text{оп}}(1 - \sin \alpha) + T_0 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) + T_0. \quad (22)$$

При величинах осадки больше значения T_1 ($T > T_1$) в погруженный объем сплотовой 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 $L_{\text{вл}}$ определяемой выражением

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

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

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

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)

$$W_{\Pi 2} = \frac{k_{\text{пол}}(k_{\Pi\Pi}V_{\Pi\Pi}\rho_{\Pi\Pi} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}})}{\rho} - \quad (27)$$

$$-kBT_0 \left(L - 2B_{\Pi\Pi} - d_{\text{оп}}(1 - \sin \alpha) + T_0 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) - kBL(T_1 - T_0).$$

Из формулы (27) следует, что

$$f = \frac{k_{\text{пол}}(k_{\Pi\Pi}V_{\Pi\Pi}\rho_{\Pi\Pi} + k_{\text{оп}}V_{\text{оп}}\rho_{\text{оп}} + m_{\text{ГМ}} + m_{\text{СТ}})}{\rho kB} - \quad (28)$$

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

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 сплотовых единиц происходит за счет коэффициента полндревесности, плотности древесины, интенсивности поглощения воды древесиной, а также конструкции и параметров сплотовой единицы. При этом в сплотовых единицах стабилизированной плавучести [1], [4] интенсивность поглощения воды древесиной на осадку сплотовой единицы никакого влияния не оказывает. В то же время коэффициент полндревесности таких сплотовых единиц способствует снижению осадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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