

С.Х. Будыка (докт.техн.наук),
С.С. Лебедь (канд.техн.наук)

О ДВИЖЕНИИ ПЛОТОВ ПЛОСКОЙ СПЛОТКИ ЧЕРЕЗ ПЛОТОХОДЫ

В связи с тенденцией сокращения молевого сплава часто бывает экономически целесообразным заменять его плотовым сплавом плоской сплотки [1]. Этот вид сплава требует таких же глубин сплавного хода, как и молевой сплав. Для увеличения сплавного периода и создания необходимых глубин целесообразно применять регулирование стока рек плотинами. При этом наиболее ответственным процессом является пропуск плотов через отверстия плотин (плотоходы). Натурное и лабораторное изучение этого процесса показывает, что основными факторами, определяющими режим движения плота, являются: вес его, шероховатость поверхности и размеры, а также поля скоростей, уклоны свободной поверхности и протяженность отдельных участков пути (перед плотоходом, на плотоходе и др.). Анализируя процесс пропуска плота через плотоход с постоянным уклоном дна, необходимо различать несколько этапов его движения, зависящих от соотношения длин плота $l_{пл}$ и плотохода $l_{пл-х}$. Рассмотрим эти соотношения по этапам для случаев,

когда $l_{пл} < l_{пл-х}$, $l_{пл} > l_{пл-х}$, $l_{пл} = l_{пл-х}$.

Для условий, когда $l_{пл} < l_{пл-х}$, целесообразно выделить следующие этапы:

I. Транспортирование плота в верхнем бьефе до момента подхода к порогу плотохода (рис. 1, а);

II. Движение плота с момента подхода к переднему краю (порогу) до полного входа его на плотоход (рис. 1, б);

III. Перемещение плота по плотоходу на пути, равном $l_{пл-х} - l_{пл}$, т.е. до момента выхода переднего края плота в нижний бьеф (рис. 1, в);

IV. Движение его с начала полного выхода в нижний бьеф (рис. 1, г);

V. Транспортирование в нижнем бьефе (рис. 1, д).

Рассмотрим уравнения движения плота по указанным этапам.

I. Общий вид уравнения движения плота в верхнем бьефе будет прежним [2]. Из его решения, как было отмечено выше,

можно найти скорость подхода к плотходу и другие величины (рис. 1, а).

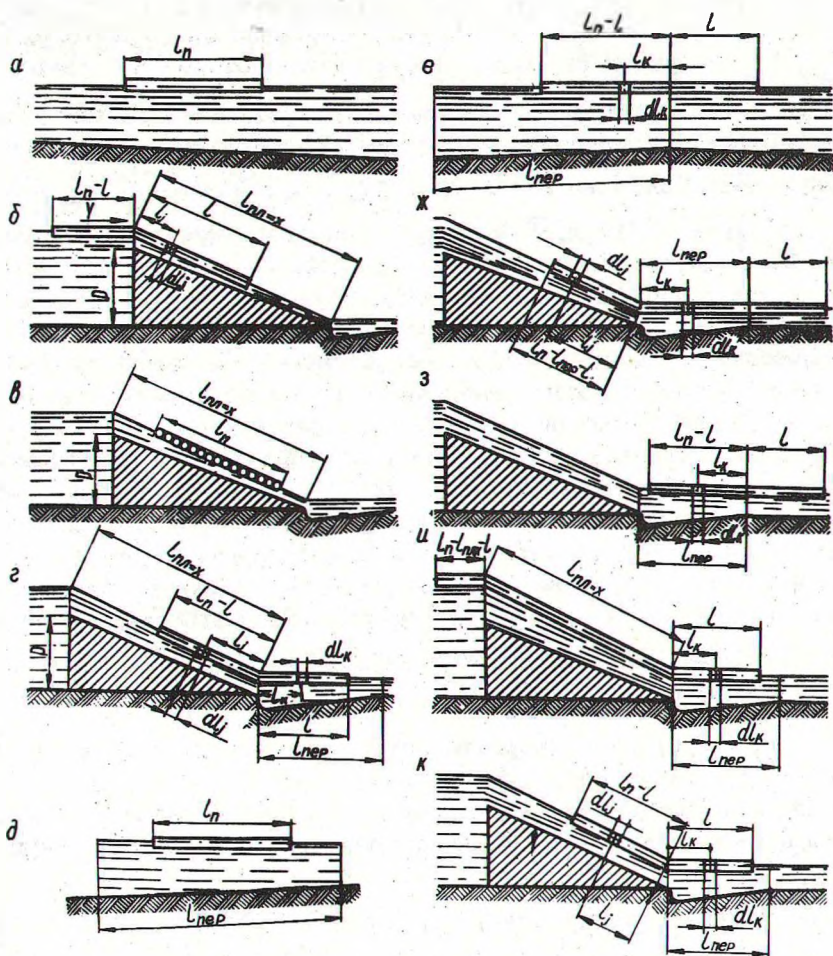


Рис. 1. Схема пропуска плотов через плотходы.

II. Уравнение движения для этапа входа на плотход (расчетная схема на рис. 1, б) будет иметь вид

$$m \frac{dv}{dt} = -\frac{P_i}{I_{\Pi}} \frac{v_0}{\Pi} (1_{\Pi} - 1) + \frac{P_i}{I_{\Pi}} \frac{\Pi l - x}{\Pi} 1 + F \pm c b (v - v_{в0})^2 x$$

$$x (1_{\Pi} - 1), \quad (1)$$

где m , P , l_{Π} , v , t — масса, вес, длина, абсолютная скорость и время движения плота соответственно; b , l — ширина и длина (путь плота) части плота, находящейся на плотоходе; $i_{\text{вб}}$, $i_{\text{пл}}$ — уклон свободной поверхности потоков в верхнем бьефе и на плотоходе (в первом приближении его можно принять равным уклону дна плотохода); c — коэффициент сопротивления воды движению плота; $v_{\text{вб}}$ — средняя скорость течения в верхнем бьефе; F — влекущая сила потока, действующая на часть плота, находящуюся на плотоходе.

В уравнении (1) первый член справа от знака равенства представляет собой составляющую силы тяжести плота, находящейся в верхнем бьефе, по направлению его движения. Величина этой составляющей незначительна по сравнению с другими силами, действующими на плот, и ею зачастую можно пренебречь. Второй член справа является проекцией силы тяжести части плота, находящейся на плотоходе, на направление его движения. Величину F можно определить из расчетной схемы на рис. 1, б. Для этого выделим площадку (полоску) плота длиной dl_i и шириной b . На нее действует влекущая сила потока dF_i , которую можно определить так:

$$dF_i = cb(v_i - v)^2 dl_i, \quad (2)$$

где v_i — средняя скорость потока в сечении, отстоящем от порога плотохода на расстояние l_i .

Если проинтегрировать выражение (2) по длине l части плота, вышедшей на плотоход, то получим величину влекущей силы

$$F = \int_0^l cb(v_i - v)^2 dl_i, \quad (3)$$

или

$$F = cb \int_0^l (v_i - v)^2 dl_i, \quad (4)$$

так как c и b — постоянные величины. В выражениях (3) и (4) величина абсолютной скорости движения плота v для каждого фиксированного значения l будет постоянной, ибо скорости всех точек находящейся на плотоходе части плота равны между собой для каждого такого положения. Сред-

няя же скорость течения потока на плотоходе является переменной по его длине. При постоянном расходе воды Q и постоянной ширине b плотохода прямоугольного сечения v_i очевидно, можно рассматривать как функцию от l_i , т.е. $v_i = f(l_i)$. Интеграл в выражении (4) можно вычислить или аналитически или численным способом, используя для этого один из методов интегрирования уравнения установившегося неравномерного, медленно изменяющегося движения воды в призматическом русле.

Если подставить значение силы F из (4) в уравнение (1), то оно примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P_{i_{вб}}}{l_{\Pi}} (l_{\Pi} - 1) + \frac{P_{i_{пл}}}{l_{\Pi}} l + cb \int_0^1 (v_i - v)^2 dl_i \pm cb (v - v_{вб})^2 (l_{\Pi} - 1). \quad (5)$$

Знак "+" перед третьим членом правой части равенства берется при $v < v_i$, а знак "-" - при $v > v_i$. Перед четвертым членом этой части принимается знак "+" при $v < v_{вб}$ и знак "-" при $v > v_{вб}$.

В случае, когда режим движения жидкости на плотоходе является равномерным, скорость v_i будет постоянной и выражение (4) примет вид

$$F = cb (v_i - v)^2 l. \quad (6)$$

Уравнение (5) соответственно запишется

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P_{i_{вб}}}{l_{\Pi}} (l_{\Pi} - 1) + \frac{P_{i_{пл}}}{l_{\Pi}} l + cb (v_i - v)^2 l \pm cb (v - v_{вб})^2 (l_{\Pi} - 1). \quad (7)$$

Если пренебречь первым членом правой части формулы (7) из-за его малости и учесть, что обычно $v_i > v > v_{вб}$, то получим уравнение, приведенное ранее [2]:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P_{i_{пл}}}{l_{\Pi}} l \pm cb (v_i - v)^2 l \pm cb (v - v_{вб})^2 l \times (l_{\Pi} - 1). \quad (8)$$

Последнее уравнение приведено ранее [3]. Здесь, как и далее, мы не учитываем остаточных сопротивлений, ибо они для плоского плота являются незначительными и их влиянием на его движение можно пренебречь. Уравнения (1) - (8) действительны для участка пути l , равного длине плота l_{Π} .

III. С момента полного входа плота на плотоход, т.е. когда $l = l_{\Pi}$ (рис. 1, в), уравнение (5) примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = P i_{\text{пл}} \pm c b \int_0^{l_{\Pi}} (v_i - v)^2 dl_i, \quad (9)$$

а уравнения (7) и (8) примут вид

$$m \frac{dv}{dt} = P i_{\text{пл}} \pm c b (v_i - v)^2 l_{\Pi}. \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10) перед вторым членом правой части берется знак "+" при $v_i > v$ и знак "-" при $v_i < v$. При решении уравнения (9) можно воспользоваться одним из методов интегрирования уравнения установившегося неравномерного медленно изменяющегося движения воды в призматическом русле для определения величин скоростей v_i . Кроме того, решая это уравнение, необходимо учитывать положение плота относительно плотохода.

Уравнения (9) и (10) справедливы для участка пути длиной $l = l_{\text{пл-х}} - l_{\Pi}$ (где $l_{\text{пл-х}}$ - длина плотохода), т.е. до момента начала выхода передней части плота в нижний бьеф. Решив эти уравнения, мы сможем получить скорость движения плота перед началом выхода переднего его края в нижний бьеф и другие величины.

IV. При выходе плота с плотохода в нижний бьеф уравнение движения будет иметь вид (рис. 1, г)

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P i_{\text{пл}}}{l_{\Pi}} (l_{\Pi} - l) \pm \frac{P i_{\text{н}}}{l_{\Pi}} l \pm F_{\text{пл}} \pm F, \quad (11)$$

где l - длина части плота, находящейся в нижнем бьефе (путь плота); $i_{\text{н}}$ - средний уклон свободной поверхности воды в нижнем бьефе (уклон переходного участка нижнего бьефа); $F_{\text{пл}}$ - влекущая или тормозящая сила воздействия потока воды на часть плота, находящуюся на плотоходе; F - сила влечения

или торможения потока, действующая на находящуюся в нижнем бьефе часть плота длиной l .

Определить величину силы $F_{пл}$ можно следующим образом. На расстоянии l_j от конца плотохода выделим площадку (полоску) длиной dl_j . Очевидно, что на нее будет действовать влекущая сила

$$dF_j = cb(v_j - v)^2 dl_j, \quad (12)$$

где v_j - средняя скорость в сечении потока, расположенном на расстоянии l_j выше конца плотохода.

Квадратура правой части выражения (12) с пределами от нуля до $l_j = l_{п} - l$ и даст нам искомую величину

$$F_{пл} = \int_0^{l_{п}-l} cb(v_j - v)^2 dl_j. \quad (13)$$

Рассуждая подобным образом относительно части плота, находящейся в нижнем бьефе, получим

$$F = \int_0^l cb(v - v_k)^2 dl_k. \quad (14)$$

В выражениях (13) и (14) величины c и b как постоянные можно вынести за знак суммы. При определении величин $F_{пл}$ и F следует иметь в виду, что величина скорости плота $v_{пл}$ зависит от l , т.е. от пройденного им пути, но она не зависит от l_j и l_k . Иными словами, для каждого фиксированного значения l , следовательно, и величины $l_{п} - l$ скорость v будет одинаковой по величине во всех точках плота. Для различных же значений l она тоже будет иметь различные значения.

Подставим значения $F_{пл}$ (13) и F (14) в уравнение (11):

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{P_{i_{пл}}}{l} (l_{п} - l) \pm \frac{P_{i_{н}}}{l_{п}} l \pm cb \int_0^{l_{п}-l} (v_j - v)^2 dl_j \pm cb \int_0^l (v - v_k)^2 dl_k. \quad (15)$$

В уравнении (15) перед вторым членом правой части при $i_H > 0$ следует брать знак "+", а при $i_H < 0$ - знак "-". Третий член этой части берется со знаком "+" при $v_j > v$ и со знаком "-" при $v_j < v$. Четвертый - со знаком "+" при $v_k > v$ и со знаком "-" - при $v_k < v$. Из этого следует, что уравнение (15) следует решать поэтапно.

В случае, когда на плотоходе (быстротоке) равномерный режим течения, т.е. $v_j = \text{constant}$, уравнение (15) примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{Pi_{пл}}{l_{п}} (l_{п} - l) \pm \frac{Pi_H}{l_{п}} l \pm cb (v_j - v)^2 \cdot x$$

$$x (l_{п} - l) \pm cb \int_0^l (v - v_k)^2 dl_k. \quad (16)$$

Уравнения (11) - (16) справедливы для участка пути l , который изменяется в пределах $0 < l < l_{п}$.

У. При $l = l_{п}$ плот полностью вышел с плотохода в нижний бьеф, и уравнение его движения будет иметь вид

$$m \frac{dv}{dt} = Pi_H \pm cb \int_0^{l_{п}} (v - v_k)^2 dl_k. \quad (17)$$

В этом уравнении перед первым членом правой части берется знак "+" при $i_H > 0$ и "-" при $i_H < 0$ (обратный уклон свободной поверхности). Перед вторым членом ставится "+" при $v > v_k$ и знак "-", когда $v < v_k$.

Уравнение (17) справедливо для переходного участка при длине его $l > l_{п}$. Движение плота, отвечающее этому уравнению, будет происходить на пути длины $l_{п} - l$ (рис. 1, д). Далее (рис. 1, е) плот будет двигаться согласно уравнению

$$m \frac{dv}{dt} = \pm \frac{Pi_H}{l_{п}} (l_{п} - l) + \frac{Pi_{нб}}{l_{п}} l \pm cb \int_0^{l_{п}-l} (v - v_k)^2 dl \pm$$

$$\pm cb (v - v_p)^2 l, \quad (18)$$

где l - длина части плота, вышедшей на участок потока с равномерным режимом (путь плота); $i_{нб}$ - уклон свободной поверхности потока с равномерным режимом (за переходным участком); v_p - средняя скорость течения равномерного потока.

Оно действительно для участка пути, равного длине плота $l_{п}$, т.е. до момента полного выхода плота на участок с равномерным режимом. Следовательно, путь плота l для этой стадии движения будет изменяться в пределах от нуля до $l_{п}$. Знак "+" перед первым, третьим и четвертым членами правой части будет соответственно при $i_{н} > 0$, $v_{к} > v_p$ и $v_{р} > v_p$; а знак "-" - при $i_{н} < 0$, $v_{к} < v_p$ и $v_{р} < v_p$.

Для следующей стадии движения уравнение примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = P i_{нб} \pm cb(v - v_p)^2 l_{п} \quad (19)$$

Если $v < v_p$, то следует брать знак "+", а при $v > v_p$ - "-". Здесь под $v_{пр}$ понимается предельная (установившаяся) скорость плота, при которой составляющая силы веса $P i_{нб}$ равна сопротивлению потока движению плота. Для нашего случая предельная скорость может быть определена так:

$$v_{пр} = \sqrt{\frac{P i_{нб}}{cb l_{п}}} + v_p \quad (20)$$

Очевидно, что при $v = v_{пр}$ уравнение (19) принимает вид

$$m \frac{dv}{dt} = 0 \quad (21)$$

Но так как $m \neq 0$, то $\frac{dv}{dt} = 0$ и, следовательно,

$$v = \text{constant} \quad (22)$$

т.е. плот при этом будет двигаться равномерно.

Если же $v > v_{пр}$ (плот может приобрести очень большую скорость при движении по плотоходу), то в уравнении (19) перед вторым членом правой части берется знак "-" и оно будет действительным для участка пути, на котором скорость плота

уменьшится до v_p , после чего плот будет перемещаться равномерно.

Для случая, когда длина переходного участка меньше длины плота, т.е. $l_{пер} < l_{п}$, уравнения (11) - (16) будут действительны для участка пути длиной $l_{пер}$. Иными словами, величина l (пройденный плотом путь) будет изменяться в пределах от нуля до $l_{пер}$. Далее уравнение плота примет вид (рис. 1, ж)

$$m \frac{dv}{dt} = -\frac{P_{i_{пл}}}{l_{п}} (l_{п} - l_{пер} - 1) \pm \frac{P_{i_{н}}}{l_{п}} l_{пер} + \frac{P_i}{l_{п}} l \pm \pm cb(v - v_j)^2 (l_{п} - l_{пер} - 1) \pm cb \int_0^{l_{пер}} (v - v_k)^2 dl_k \pm \pm cb(v - v_p)^2 l. \quad (23)$$

Это уравнение будет справедливым для пути $0 < l < (l_{п} - l_{пер})$. В уравнении (23) третий член справа представляет собой составляющую силы тяжести части плота, находящейся на участке с равномерным режимом течения, а последующий член - влекущую силу потока, действующую на ту же часть плота.

Если же режим течения на плотоходе будет равномерным, т.е. $v_j = \text{constant}$, уравнение движения плота запишется так:

$$m \frac{dv}{dt} = -\frac{P_{i_{пл}}}{l_{п}} (l_{п} - l_{пер} - 1) \pm \frac{P_{i_{н}}}{l_{п}} l_{пер} + \frac{P_{i_{нб}}}{l_{п}} l \pm cb(v - v_j)^2 (l_{п} - l_{пер} - 1) \pm cb \int_0^{l_{пер}} (v - v_k)^2 dl_k \pm \pm cb(v - v_p)^2 l. \quad (24)$$

Оно будет действительным для того же участка пути, что и (23).

Последующее движение плота (этап У) начнется при $l = l_{п} - l_{пер}$, т.е. когда плот полностью сойдет с плотохода. Уравнение его движения примет вид (18) (рис. 1, з). Это уравнение будет отражать движение плота до момента полного его выхода на равномерный участок течения, т.е. на пути, равном $l_{пер}$. Следовательно, l будет изменяться в пределах от $l_{п} - l_{пер}$ до $l_{п}$.

При $l = l_{\Pi}$ уравнение плота выразится зависимостью (19). В случае, когда $l_{\text{пер}} = l_{\Pi}$, уравнения (1) - (16) остаются без каких-либо изменений.

После выхода плота в нижний бьеф движение его будет иметь вид уравнения (18), которое будет действительным в этом случае для участка пути длиной $l_{\text{пер}}$ или l_{Π} .

Дальнейшее движение плота выразится зависимостью (19) с вытекающими из нее уравнениями (20) - (22).

Для условий, когда $l_{\Pi} > l_{\text{пл-х}}$, выделяем следующие этапы: I - У.

Уравнения движения плота по этапам будут:

I - то же, что и при $l_{\Pi} < l_{\text{пл-х}}$.

II - выразится зависимостями (1) - (8), действительными для участка пути длиной $l_{\text{пл-х}}$.

III. После того как плот пройдет путь $i = l_{\text{пл-х}}$, уравнение дальнейшего его движения будет (рис. 1, и):

$$\begin{aligned}
 m \frac{dv}{dt} = & \frac{P_i}{l_{\Pi}} \frac{v_{\text{б6}}}{v_{\text{б6}}} (l_{\Pi} - l_{\text{пл-х}} - l) + \frac{P_i}{l_{\Pi}} l_{\text{пл-х}} \pm \\
 & \pm \frac{P_i}{l_{\Pi}} l_{\text{cb}} \int_0^{l_{\text{пл-х}}} (v_j - v)^2 dl_j + \text{cb} (v - v_{\text{б6}})^2 x \\
 & x (l_{\Pi} - l_{\text{пл-х}} - l) \pm \text{cb} \int_0^l (v - v_k)^2 dl_k. \quad (25)
 \end{aligned}$$

В уравнении (25) l - длина части плота, вышедшей в нижний бьеф (путь плота). При этом необходимо иметь в виду, что перед третьим членом правой части необходимо ставить знак "+" при $i > 0$ и "-" при $i < 0$. Перед четвертым, пятым и шестым членами ставится знак "+", если соответственно $v_j > v$, $v_{\text{б6}} > v$ и $v_k > v$; а "-" при $v_j < v$, $v_{\text{б6}} < v$, $v_k < v$.

Если на плотоходе равномерный режим течения, т.е. $v_j = \text{constant}$, то уравнение движения будет

$$\begin{aligned}
 m \frac{dv}{dt} = & \frac{P_i}{l_{\Pi}} \frac{v_{\text{б6}}}{v_{\text{б6}}} (l_{\Pi} - l_{\text{пл-х}} - l) + \frac{P_i}{l_{\Pi}} l_{\text{пл-х}} \pm \\
 & \pm \frac{P_i}{l_{\Pi}} l_{\text{cb}} (v_j - v)^2 l_{\text{пл-х}} + \text{cb} (v - v_{\text{б6}})^2 x
 \end{aligned}$$

$$x(1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}} - 1) \pm cb \int_0^1 (v - v_{\text{к}})^2 dl_{\text{к}}. \quad (26)$$

Уравнения (25) и (26) действительны для участка пути l , который может изменяться в пределах

$$0 < l < (1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}}). \quad (27)$$

При этом предполагается, что длина переходного участка $l_{\text{пер}}$ больше величины $1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}}$.

1У - У этапы включают случаи "а", "б", "в".

1У, а - длина переходного участка больше длины плота, т.е. $l_{\text{пер}} > 1_{\text{п}}$.

Как только путь l достигнет величины $(1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}})$, уравнение движения плота примет вид (15) или (16). Тогда l изменится в пределах

$$(1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}}) < l < 1_{\text{п}}. \quad (28)$$

При $l = 1_{\text{п}}$ плот полностью выйдет в нижний бьеф и будет двигаться согласно уравнению (17), справедливому для участка пути длиной $1_{\text{пер}} - 1_{\text{п}}$.

Дальнейшее движение плота выразится зависимостью (18), справедливой для пути длиной $1_{\text{п}}$, т.е. с начала до полного выхода плота на участок с равномерным режимом течения.

У, а - $1_{\text{пер}} < 1_{\text{п}}$. Плот будет перемещаться согласно уравнению (19) со всеми вытекающими из него зависимостями (20) - (22).

1У, б - $1_{\text{пер}} > 1_{\text{п}}$. После ухода плота с верхнего бьефа движение его выражается уравнением (15) или (16) (рис. 1, г), которые будут действительны для пути длиной $1_{\text{пер}} - (1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}})$, т.е. l будет изменяться в пределах

$$(1_{\text{п}} - 1_{\text{пл-х}}) < l < 1_{\text{пер}}. \quad (29)$$

После того как l достигнет величины $1_{\text{пер}}$, уравнение движения плота примет вид (рис. 1, ж) (23) или (24), которые будут действительны для участка пути длиной $1_{\text{п}} - 1_{\text{пер}}$.

У, б - ($1_{\text{пер}} > 1_{\text{п}}$). Уравнение движения плота запишется

в форме зависимости (18), которая будет справедливой для пути длиной $l_{\text{пер}}$, т.е. изменения длины l в пределах

$$(l_{\text{п}} - l_{\text{пер}}) < l < l_{\text{п}}. \quad (30)$$

После этого плот будет двигаться в соответствии с зависимостью (19) и вытекающими из нее зависимостями (20) - (22).

$$\text{ГУ, } l - (l_{\text{пер}} = l_{\text{п}}).$$

Аналогично первым двум случаям движение плота после того момента, как находящаяся в нижнем бьефе часть его достигнет величины $(l_{\text{п}} - l_{\text{пл-х}})$, выразится зависимостью (15) или (16), которые будут верными для пути длиной $l_{\text{пл-х}}$ (до ухода плота с плотхода).

У, $l - (l_{\text{пер}} = l_{\text{п}})$. После полного выхода плота в нижний бьеф уравнение его примет вид (рис. 1, з) (18), которое будет действительным для пути длиной $l_{\text{пер}}$ или $l_{\text{п}}$, что то же самое, т.е. будет изменяться от нуля до $l_{\text{п}}$.

Далее перемещение плота будет происходить в соответствии с уравнениями (19) - (22).

$$\text{Движение плота при } l = l_{\text{пл-х}}.$$

I. Уравнения движения плота в верхнем бьефе см. в [2].

II. Перемещение плота при входе на плотход (рис. 1, б) выразится зависимостью (5) или (7), действительной на участке пути длиной $l_{\text{пл-х}}$.

Последующее его движение рассматривается для случаев:

III, а - $(l_{\text{пер}} > l_{\text{п}})$. Перемещение плота характеризуется зависимостями (15) или (16), согласно которым он будет двигаться на пути равном $l_{\text{п}}$.

ГУ, а - $(l_{\text{пер}} > l_{\text{п}})$. Плот движется в соответствии с уравнением (17) на пути длиной $(l_{\text{п}} - l_{\text{пл-х}})$, а затем, согласно зависимости (18), на пути $l_{\text{пер}}$, т.е. будет изменяться в пределах от нуля до $l_{\text{п}}$.

Последующее его транспортирование будет осуществляться по зависимостям (19) - (22).

$$\text{III, б - } (l_{\text{пер}} < l_{\text{п}}).$$

Плот на пути, равном $l_{\text{пер}}$, будет двигаться согласно уравнениям (15) и (16), а затем в соответствии с (23) или (24) на пути $(l_{\text{п}} - l_{\text{пер}})$.

$$\text{ГУ, б - } (l_{\text{пер}} < l_{\text{п}}). \text{ На следующем участке пути длиной}$$

$l_{\text{пер}}$ уравнение движения примет вид (18). Величина l будет изменяться в пределах ($l_{\text{пер}} - l_{\text{пер}}$).

После того как $l = l_{\text{пер}}$, он будет перемещаться по зависимостям (19) - (22).

$$\text{III, в } - l_{\text{пер}} = l_{\text{пер}}$$

Уравнение движения плота на пути, равном длине его $l_{\text{пер}}$, будет иметь вид (15) или (16).

IV, в ($l_{\text{пер}} = l_{\text{пер}}$). Плот движется согласно зависимости (18) на пути $l_{\text{пер}}$, т.е. l будет изменяться от нуля до $l_{\text{пер}}$. Как и в предыдущих случаях, дальнейшее его движение будет происходить по зависимостям (19) - (22).

Таким образом, рассмотрены основные этапы транспортирования плота плоской сплотки, проходящего на своем пути через водоподпорное гидротехническое сооружение по специальному лесопропускному устройству - плотоходу.

Необходимо отметить, что для создания наиболее благоприятных условий пропуска плотов расчет и проектирование плотоходов осуществляются таким образом, чтобы происходило плавное, т.е. беспрыжковое, сопряжение потока плотохода с нижним бьефом. Длина $l_{\text{пер}}$ переходного участка нижнего бьефа в этом случае может быть сравнительно небольшой, а характер течения на этом участке приближается к равномерному. Режим течения на плотоходе также можно считать равномерным. Следовательно, решая задачу о движении плота в первом приближении, мы можем рассматривать режимы течения на плотоходе и в нижнем бьефе как равномерные (квазиравномерные) и пренебречь изменением скорости течения на подходном участке верхнего бьефа ввиду малости абсолютной величины и незначительного влияния ее. Это даст возможность несколько упростить уравнения движения плота. Рассмотрим их для следующих случаев.

$$\text{Первый случай } (l_{\text{пер}} < l_{\text{пл-х}}).$$

I. Движение плота в верхнем бьефе выразится уравнением в [2].

II. Уравнение движения плота с момента подхода к плотоходу будет иметь вид (8), действительный для участка пути длиной l , изменяющейся в пределах от нуля до $l_{\text{пер}}$.

III. Плот пройдет путь длиной ($l_{\text{пл-х}} - l_{\text{пер}}$) согласно уравнению (10).

IV. Следующий участок пути длиной l_{Π} он пройдет в соответствии с уравнением

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{Pi_{пл}}{l_{\Pi}} (l_{\Pi} - 1) \pm \frac{Pi_{нб}}{l_{\Pi}} l_{\pm cb} (v - v_i)^2 \times \\ \times (l_{\Pi} - 1) \pm cb (v - v_p)^2 l, \quad (31)$$

где l - длина части плота, находящейся в нижнем бьефе (путь плота): v_i , v_p - соответственно скорость течения на плотоходе и в нижнем бьефе.

Знак "+" перед вторым, третьим и четвертым членами правой части ставится соответственно при $i_{нб} > 0, v_i > v, v_p > v$, а "-" при $i_{нб} < 0, v_i < v, v_p < v$.

У. Дальнейшее движение его будет происходить согласно зависимостям (19) - (22).

Второй случай ($l_{\Pi} > l_{пл-х}$).

I. Характер движения в верхнем бьефе ничем не будет отличаться от предыдущего случая [2].

II. При входе плота на плотоход зависимость остается той же (8), но для пути длиной $l = l_{пл-х}$

III. После того как $l = l_{пл-х}$, уравнение движения примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{Pi_{пл}}{l_{\Pi}} (l_{\Pi} - l_{пл-х} - 1) \pm \frac{Pi_{нб}}{l_{\Pi}} l_{\pm} \\ \pm cb (v - v_i)^2 l_{пл-х} \pm cb (v - v_p)^2 l_{\pm} \pm cb (v - v_{вб})^2 x \\ \times (l_{\Pi} - l_{пл-х} - 1). \quad (32)$$

Это уравнение будет действительным для пути длиной ($l_{\Pi} - l_{пл-х}$), т.е. для l в пределах от нуля до ($l_{\Pi} - l_{пл-х}$).

IV. Далее плот будет перемещаться по зависимости (31) с пределами для l

$$(l_{\Pi} - l_{пл-х}) < l < l_{\Pi}$$

У. Последующее транспортирование плота будет происходить по зависимостям (19) - (22).

Третий случай ($l_{\text{п}} = l_{\text{пл-х}}$).

Г. Движение плота в верхнем бьефе будет аналогичным рассмотренному выше [2].

И. Далее движение будет происходить по зависимости (8) на пути от нуля до $l_{\text{п}}$.

Ш. Выход плота с плотохода в нижний бьеф будет осуществляться по зависимости (31), действительной для участка пути длиной $l_{\text{п}}$.

У. После выхода в нижний бьеф уравнения движения будут иметь вид (19) - (22).

Из вышеизложенного видно, что для анализа движения плота и решения связанных с ним задач необходимо рассмотреть лишь четыре - пять уравнений. Причем уравнения (31) и (32) по своему конструктивному построению несколько проще приведенных ранее. Это дает возможность с меньшей затратой труда и времени получать достаточно точные результаты, необходимые для проектирования.

Резюме

Получены уравнения движения плотов, пропускаемых через подпорные гидротехнические сооружения по плотоходам. Они учитывают все основные факторы, влияющие на движение плота, и могут быть использованы при проектировании и эксплуатации лесопропускных гидротехнических сооружений.

Литература

1. Будыка С.Х., Красник М.Г. О перспективах развития первоначального сплава леса плоской сплотки. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, вып. 2. Минск, 1972.
2. Лебедь С.С. Некоторые вопросы теории движения плоских плотов, пропускаемых через плотины. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, вып. 1. Минск, 1970.
3. Лебедь С.С. К вопросу движения плота по плотоходу. — В сб.: Вопросы лесозаготовок и транспорт леса. Минск, 1967.