

УДК 626.5. 53/54

В. П. Сапцин, Б. Ф. Лаврентьев

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ КАМЕРЫ ТРАНСПОРТНОГО СУДОПОДЪЁМНИКА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

Рассмотрены режимы движения камеры транспортного наклонного судоподъёмника в модельных условиях, близких к равноускоренному режиму. Для сокращения времени на перемещение грузов между бьефами рекомендуется использовать формирователь временных сигналов в системе управления движением камеры судоподъёмника.

Ключевые слова: транспортные судоподъёмники, система привода движением камеры; таймеры, лесовозные баржи; плоты сортиментные и хлыстовые.

Введение. Традиционные судопропускные сооружения – судоходные шлюзы при своей работе расходуют значительные объемы воды [1]. Транспортные наклонные судоподъёмники (ТНС) позволяют значительно экономить воду. Так, общие потери воды, из верхнего бьефа в нижний, составляют в лестнице судоходных шлюзов от 1 до 7 м³/с, а в ТНС – от 0,015 до 0,040 м³/с. Вопрос экономии воды является важным в экологическом отношении преимуществом ТНС в двух случаях: в первом случае, особенно, на высоконапорных гидроузлах комплексного транспортно-энергетического назначения ТНС обеспечивает выработку дополнительной электроэнергии, во втором – способствует улучшению систем водоснабжения. Кроме того, обнаружить утечку нефтепродуктов легче всего в подвижной камере судоподъёмника и предпринять защитные мероприятия.

ТНС обладает эффектом энергосберегающих технологий. При спуске камеры используется режим динамического торможения, т.е. работа гидромоторов переходит в режим насосов, а работа двигателей в режим генераторов. Происходит рекуперация электроэнергии в сеть. Возвращается около 25–30 % энергии, затраченной на подъем.

Решение линеаризованной задачи о колебаниях воды малой амплитуды в свободной от судов камере при произвольном законе разгона или торможения ранее равномерно двигавшейся камеры [2] имеет недостатки. Продольные перемещения незакрепленного «гибкого» судна, следующего за водной поверхностью, при мгновенной остановке камеры с продольной компоновкой, переносятся на камеру с поперечной компоновкой [3, 4]. При этом не учитывается влияние движущегося судна на трансформацию волновой картины в камере. Это приводит к завышению максимальных перемещений судна, что, как принято говорить, «идет в запас конструкции» по условиям безопасных габаритов камеры. Основная обработка результатов натурных испытаний на судоподъёмнике Красноярского гидроузла и их сопоставление с теоретическими расчетами в условиях трехступенчатого разгона камеры показала удовлетворительную сходимость как в частотном отношении, так и по амплитудам колебаний волновых параметров в натурных условиях в камере в условиях линейного приближения и на модели [4].

Цель настоящей работы – получение расчетных зависимостей, позволяющих оценить безопасные условия транспортировки грузов в эксплуатационных условиях, и тем

самым оценить пропускную способность ТНС даже на ранней стадии проектирования при сравнении вариантов судопропускных сооружений.

Методика исследований. Лабораторные исследования выполнены для модели продольного расположения камеры [2] и поперечного судоподъемника [5]); моделирование осуществлялось по закону гравитационного подобия (по Фрудру). Опыты проводились с учетом колебаний воды и перевозимых грузов в камере с обязательным повтором, расхождение основного опыта и повтора не должно превышать $\pm 5\%$, при больших расхождениях опыт повторялся.

Основные результаты и их обсуждение. Система интегро-дифференциальных уравнений колебаний воды и транспортируемых грузов в камере ТНС в связанном виде приведена в работах [2, 3]. Выделим из системы интегро-дифференциальных уравнений параметры, характеризующие движение транспортируемого груза. При неравномерном движении камеры ТНС на транспортируемое тело действуют следующие силы [5]:

- 1) силы инерции переносного движения камеры на транспортируемый груз;
- 2) силы волнового воздействия при неравномерном движении камеры;
- 3) силы натяжения в причальных устройствах (тросах);
- 4) силы трения о смоченную поверхность тела (секцию плота);
- 5) силы ветрового воздействия.

Две последние силы пренебрежимо малы по сравнению с предыдущими, поэтому в дальнейшем их учитывать не будем.

Линейные продольные (поперечные) перемещения секции плота в этой системе представлены следующим уравнением:

$$M_c \frac{d^2 x_c}{dt^2} = -M_c j_x + \rho g' \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \omega_c (x - x_c) \frac{\partial \zeta}{\partial x} (x, t) dx + F_{np}, \quad (1)$$

где M_c – масса секции плота; x_c – продольная координата центра тяжести плота; t – время; j_x – горизонтальная составляющая ускорения движения камеры; ρ – плотность воды; g' – ускорение свободного падения с учетом вертикальной составляющей ускорения движения камеры; ω_c – площадь поперечного сечения плота; ζ – амплитуда волны в камере при её неравномерном движении; F_{np} – продольная сила в швартовных канатах.

Рассмотрим, как ведут себя колебания воды в камере в зависимости от степени закрепления плота к её стенкам (частотные характеристики), т.е. проанализируем влияние последнего члена уравнения зависимости (1). Были проведены специальные опыты с телами (судами, секциями плотов), связанными со стенками камеры различными способами. Период колебаний воды при наличии плота в камере обозначим через T_c . Результаты опытов представлены на рис. 1 в безразмерном виде, отнесем численную величину к $2T_c$ (периоду колебаний воды в свободной от транспортируемых грузов камере) по оси ординат, а по оси абсцисс – также введем безразмерную величину: глубину воды в камере h_k отнесем к величине осадки (секции плота) s . Здесь на рис. 1 следующие обозначения:

$T_c = \frac{L_k}{\sqrt{gh_k}}$; L_k – габаритная длина камеры для продольного судоподъемника (B_k – габаритная ширина для поперечного судоподъемника); x_c, ψ_c, η_c – соответственно продольные (поперечные) линейные перемещения центра тяжести, продольный (поперечный) дифферент, вертикальные колебания центра тяжести плота

или соответственно для поперечного судоподъемника $T_c = \frac{B_k}{\sqrt{gh_k}}$.

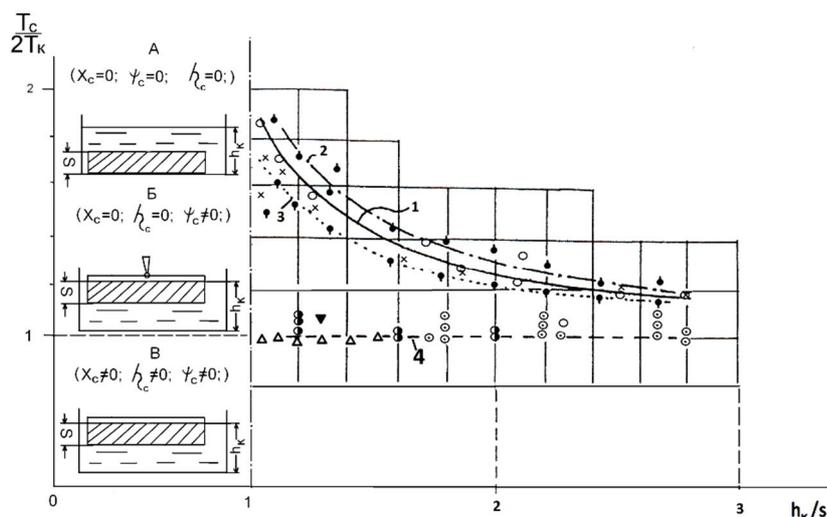


Рис. 1. Период колебаний воды в камере при наличии плота: Серия «А»: о – теория по формуле (2); x – эксперимент с уступом на дне (кривая 1). Серия «Б»: ● – теория по формуле (2) (кривая 3); ● – эксперимент (кривая 2). Серия «В»: Δ – незакрепленный плот в камере с продольной компоновкой; ○ – плот, закрепленный за гидравлические амортизаторы (продольная камера); Э – незакрепленный плот в камере с поперечной компоновкой; ▼ – опыт де Риса с незакрепленным плотом в камере с продольной компоновкой [11]

Волны, возникающие в камере в период её неравномерного движения, фиксировались датчиками-волномерами с записью на осциллографе. Период колебаний волн в камере определялся через 0,1 с.

В серии «А» моделировалось «жесткое» закрепление плота. Были проведены опыты с «уступом» на дне камеры, имитирующие «жесткое» закрепление плота ($x_c = 0; \psi_c = 0; \eta_c = 0$). Серия из 15 опытов показала, что опытные точки хорошо описываются зависимостью (2), полученной теоретическим путем О. Ф. Васильевым [6, 7] и экспериментальными исследованиями А. В. Михайлова [7, 8]:

$$T_c = 2 \left[\frac{(L_k - l_c)}{c_k} + \frac{l_c}{c_c} \right], \quad (2)$$

где $c_k = \sqrt{gh_k}$ – скорость распространения волны возмущения на открытых участках камеры; $c_c = \sqrt{\frac{g(b_k h_k - \omega_c)}{b_k}}$ – скорость распространения волны возмущения в пределах корпуса плота (b_k – ширина камеры).

В серии «А» опытные точки практически совпадают с аналитической формулой (2).

В серии «Б» рассматривался период колебаний волн в камере с телом, жестко расчлененным в отношении продольных (поперечных) и вертикальных перемещений его центра тяжести ($x_c = 0; \eta_c = 0; \psi \neq 0$), однако имеющим возможность совершать продольные или поперечные угловые колебания. Серия «Б» состояла из 20 опытов. Результаты эксперимента (рис. 1, кривая 2) и расчета по формуле (2) (рис. 1, кривая 3) показали, что опытные точки располагаются несколько выше расчетной кривой. Абсолютная погрешность не превышает 14 % при $h_k/s = 1,11$, с увеличением h_k/s погрешность уменьшается до 3 % при $h_k/s = 2,65$. Это объясняется неизбежностью вертикальных и угловых колебаний центра тяжести тела при наличии волны. Следовательно, даже при таком закреплении плота в камере ТНС может быть использована формула (2).

Серия «В» заключалась в проведении экспериментальных опытов с незакрепленным в камере телом, т.е. неучаленной секцией плота ($x_c \neq 0; \eta_c \neq 0; \psi_c \neq 0$). Опытные точки расположились вблизи от прямой 4 (рис.1.) Сюда же были нанесены опытные точки, характеризующие период колебаний неучаленной секции плота в камере судоподъёмника с поперечной компоновкой [9], а также колебания плота, зачаленного за специальные гидравлические амортизаторы, предотвращающие обрыв швартовных тросов при экстренной остановке камеры. В серии «В» – более 30 опытных точек, которые располагаются при $T_c/2T_k \cong 1$, их можно аппроксимировать прямой 4 (рис. 1), близкой к единице [10].

Таким образом, период колебаний воды в камере при её неравномерном движении, вызванный периодом разгона (торможения), может быть в первом приближении принят за период колебаний воды в камере, свободной от грузов.

Сортиментный плот, состоящий из пучков, имеет прочную волноустойчивую конструкцию как в продольном, так и в поперечном отношении, поэтому представляет собой «гибкую» систему, следящую за волновой поверхностью воды в камере ТНС. Секция плота закреплена тросами к неподвижной стенке камеры (рис. 2).

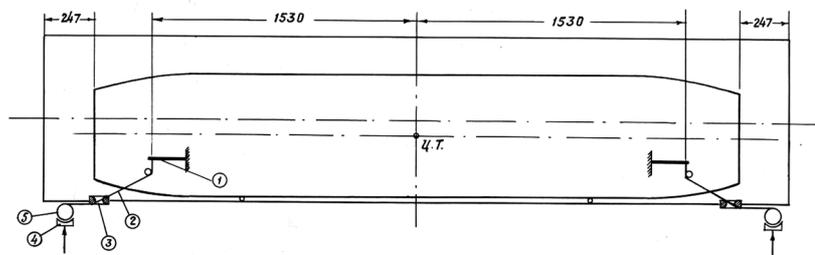


Рис. 2. Имитация работы гидравлического амортизатора на модели Красноярского судоподъёмника: 1 – упругий элемент с тензометрическими датчиками; 2 – модельный трос (кордовая нить); 3 – направляющий клюз; 4 – тормозная колодка; 5 – фрикционный барабан

Работа «гидравлического амортизатора» на модели имитировалась сухим трением [2], для чего было изготовлено фрикционное устройство для носового и кормового швартовного троса. Модельный трос навивался на барабан, заторможенный фрикционной колодкой (см. рис. 2). Фрикционное устройство было настроено на усилие в швартовном тросе 82 кН ($\approx 8,2 \text{ т}$, для натуре) для условий Красноярского судоподъёмника, которое выдерживалась в опытах с отклонениями $\pm 10 \%$. Опыты показали эффективность работы фрикционного устройства для предотвращения обрыва швартовных тросов при экстренном торможении камеры ТНС. Модель транспортируемого плота зачаливалась тросами за фрикционные устройства к продольной стенке камеры на расстоянии $0,8 \text{ см}$ (20 см для натуре) от неё. При экстренном торможении камеры судно начало перемещаться вперед по ходу движения камеры и в кормовом тросе появлялось усилие, быстро достигающее максимальной величины. Кормовое фрикционное устройство, проворачивая заторможенный барабан, стравливало трос при усилии в нем $8,0\text{--}10,0 \text{ т}$ и находилось вместе с кормовым тросом в рабочем состоянии $8\text{--}10 \text{ с}$. Модель судна останавливалась при движении его вперед и начинала движение в противоположном направлении, кормовой трос разгружался и провисал. Как только модель судна достигала своего первоначального положения, начинал работать носовой трос и фрикционное устройство в течение $10\text{--}12 \text{ с}$. Все численные значения даны для натуре при моделировании по закону гравитационного подобия (по Фрудру).

Продольные колебания модели судна довольно быстро затухают (рис. 3), только первые два колебания вперед и назад по ходу движения камеры представляют реально ощутимую величину, с учетом этого опытные экспериментальные точки нанесены на рис. 1.

Уравнение (1) для продольных перемещений судна, лишённого связей со стенками камеры, т.е. незакрепленного судна, будет выглядеть следующим образом: при $\omega_c \approx const$ [5]

$$M_c \frac{d^2 x_c}{dt^2} = -M_c j_x + \rho g' \omega_c [\zeta_1(x_1, t) - \zeta_2(x_2, t)]. \quad (3)$$

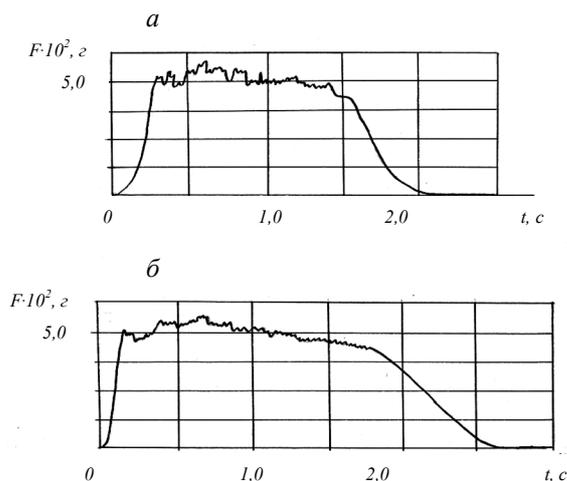


Рис. 3. Характер изменения усилий в тросах при работе фрикционного устройства: а – кормового; б – носового

движение камеры по рельсовым путям происходит по ширине камеры. Суть сводится к следующему: в случае «быстрого» разгона или торможения камеры (при $t \leq T_k$) к моменту окончания периода разгона, когда у торцов камеры заканчивается формирование волн повышения и понижения, волны не успевают еще добежать до противоположного торца камеры и высота сформировавшихся волн получается той же величины, что и при мгновенной остановке судовозной камеры [3]. При заданной скорости V_0 от времени разгона (торможения) t камеры зависит лишь крутизна волн, но не их амплитуда. В случае «медленного» эксплуатационного режима (при $t > T_k$) волны, образующиеся у торцов камеры, успевают добежать до противоположных ее торцов еще до окончания процесса завершения периода разгона (торможения), что приводит к колебанию уровня воды у этих стенок с периодом $2T_k$ и амплитудой $|j_x| L_k / g$ (или $|j_x| B_k / g$) [3].

Для исследования эксплуатационных режимов движения модели камеры возникла необходимость варьировать временем неравномерного движения. С этой целью совместно с кафедрой проектирования и производства электронно-вычислительных систем МарГТУ был разработан формирователь временных сигналов (ФВС), структурная схема которого приведена на рис. 4.

ФВС включает в себя кварцевый генератор на 32768 Гц, делитель частоты на 1638, счетчик с регулируемым коэффициентом пересчета, формирователь сигналов ускорения, формирователь сигналов торможения и два усилителя мощности, которые нагружены на электромагнитные реле P_1 и P_2 . ФВС выдает сигналы на разгон и ускорение с заданной длительностью от 0,05 до 12,8 с с дискретностью 0,05 с. Запуск форми-

Из уравнения (3) можно видеть, что силе инерции переносного движения камеры ($-M_c j_x$), действующей на секцию плота, противодействует сила суммарного волнового воздействия на оконечности судна $\rho g' \omega_c [\zeta_1(x_1, t) - \zeta_2(x_2, t)]$ от волн, возникающих в период неравномерного движения камеры.

В опытах наибольших колебаний волн с учетом всплеска у боковых стенок камеры при модельных испытаниях поперечного судоподъемника зафиксировано не было. Это связано с тем, что габаритные размеры камеры наклонного транспортного судоподъемника совершенно иные – дви-



Рис. 4. Структурная схема формирователя временных сигналов (ФВС)

исходном состоянии счетчик находится в состоянии «ноль», т.к. на его вход «R» поступает сигнал «1». При поступлении сигнала «Ускорение» триггер в формирователе сигнала ускорения устанавливается в состояние «1». При этом разрешается работа счетчика с регулируемым коэффициентом пересчета, а на усилитель мощности 1 поступает сигнал, который усиливается и включает реле P_1 . Через заданное время сигнал с выхода счетчика с регулируемым коэффициентом пересчета через дифференцирующую цепочку RC поступает на вход «R» формирователя сигнала «ускорение», устанавливая его в «0». При этом запрещается работа счетчика с регулируемым коэффициентом пересчета и отключается реле P_1 . Аналогично работает схема при приходе сигнала «Торможение». При этом на заданное время включается реле P_2 . Таким образом, начало работы модельной установки определяется приходом сигналов «Ускорение» или «Торможение». ФВС входит в состав схемы управления привода модели ТНС. Проверка работы формирователя временных сигналов проводилась на модельной установке поперечного ТНС применительно к Богучанскому гидроузлу, в которой представлены основные результаты исследований [5].

Таким образом, рациональные режимы движения камеры ТНС могут быть выбраны с учетом периодов колебаний воды в свободной от перевозимых грузов камере, т.е. время разгона (торможения) камеры принимается кратным величине $2nT_k$, где n – натуральное число (1, 2, 3...n). При режимах, соответствующих другим благоприятным эксплуатационным условиям разгона камеры (соответственно торможения), за $4T_k$, $6T_k$, $8T_k$ и $10T_k$ получены соответствующие зависимости [5].

Выбор рациональных режимов движения камеры ТНС может рассматриваться как для вновь проектируемого лесо-судопропускного устройства, так и при подборе размеров секции плота размерам камеры судоподъёмника.

Для первого случая: в зависимости от габаритных размеров секций плотов, эксплуатируемых в указанных бассейновых управлениях пути, выбираются габаритные размеры камеры: определяется осадка секции плота, его тип подводной части. Оценивается глубина наполнения камеры для безаварийной её работы [4], предполагаемая скорость равномерного движения камеры, определяются габаритные размеры камеры. Затем при эксплуатационных условиях $T_p = 2 \times l \times T_k$, соответствующих самым быстрым условиям транспортировки, определяются условия перевозки грузов и грузооборот со-

рователей производится при нажатии кнопок К1 «Ускорение» и К2 «Торможение». Установка длительности импульсов производится переключателем. Работа ФВС производится следующим образом: кварцевый генератор формирует стабильную частоту 32768 Гц, которая поступает на делитель частоты с коэффициентом деления 1638. С выхода делителя сигналы с частотой 20 Гц поступают на вход счётчика с регулируемым коэффициентом пересчета. В

оружения. При необходимости скорость равномерного движения камеры может быть увеличена. В этом случае следует рассчитывать линейные продольные перемещения транспортируемых грузов по следующей формуле:

$$x_{\max} \cong \varepsilon(\Delta\ell + \ell_c / 4), \quad (4)$$

x_{\max} – линейные перемещения центра тяжести плота при центральном расположении на случай мгновенной остановки камеры при движении вверх по наклонному пути; $\Delta\ell$ – запас по длине (ширине) от стенок камеры; ℓ_c – приведенная длина плота; $\varepsilon = V_o \cos\theta / \sqrt{gh_k}$ – скоростной коэффициент. Здесь V_o – скорость равномерного движения камеры; θ – угол наклона рельсовых путей.

Для второго случая: при оценке пропускной способности (грузообороте) также может быть увеличена скорость равномерного движения камеры, проверка по формуле (4) обязательна. Поперечные линейные перемещения секции плота с учетом реальных волновых воздействий на боковые оконечности плота по времени разгона и торможения модели приведены на рис. 5. Граничные условия колебаний волн с учетом секции незакрепленного плота можно разделить на пять этапов: $0 \leq t \leq \delta T_k$; $\delta T_k \leq t \leq (1 - \delta)T_k$; $(1 - \delta)T_k \leq t \leq (1 + \delta)T_k$; $(1 + \delta)T_k \leq t \leq (2 - \delta)T_k$; $(2 - \delta)T_k \leq t \leq (2 + \delta)T_k$.

Наибольшая скорость перемещения секции плота в условиях линейного приближения волновых колебаний в камере, при времени неравномерного движения $T = 2nT_k$, будет:

$$V_{\text{секц.}} \left(\frac{T_k}{2} \right) = -\frac{V_o \cos\theta}{8n} \times \frac{1 - 4\delta^2}{1 - 2\delta} = -\frac{V_o \cos\theta}{8n} \times (1 + 2\delta) \quad (5)$$

и

$$V_{\text{секц.}} \left(\frac{3T_k}{2} \right) = \frac{V_o \cos\theta}{8n} \times \frac{1 - 4\delta^2}{1 - 2\delta} = \frac{V_o \cos\theta}{8n} \times (1 + 2\delta). \quad (6)$$

Наибольшие линейные перемещения центра тяжести перевозимого груза будут определяться по следующей формуле:

$$X_{\text{секц.}}(T_k) = -\frac{V_o \cos\theta \times T_k}{12n} \times \left(1 + 2\delta - \frac{9}{2}\delta^2\right). \quad (7)$$

Эти условия проиллюстрированы на рис.2 [5, с. 60].

Время неравномерного движения камеры зависит от величины натурального числа n : при $n=1$ – противодействует только один «качок» волновых воздействий, при $n=2$ – два «качка», и т.д. Наиболее быстрым будет время разгона за $T_p = 2 \times l \times T_k$, относительная амплитуда колебаний волн будет в 1,98 раза больше, чем за время неравномерного движения при $n=2$. Следует отметить, что при времени разгона камеры более, чем за $2T_k$, приведенные в табл. 1 [5, с.63], создаются «щадящие» условия как для амплитуды колебаний волн в камере, так и для перемещений секции плота, однако это удлиняет цикл пропуска плотов. Для оценки коэффициентов K_1 и K_2 , приведенных в табл. 1 [5, с. 63], можно воспользоваться графиком (рис.6).

Достаточно определить отношение габаритной длины секции плота к габаритной длине камеры, по графику (рис. 6) можно оценить значения этих коэффициентов K_1 и K_2 . Пропускная способность транспортных судоподъемников изложена в работе [11].

Таким образом, рассмотрен процесс колебаний секции плота, не прикрепленного к стенкам камеры. Инерционным перемещениям грузов противодействует суммарная волновая сила при неравномерном движении камеры ТНС.

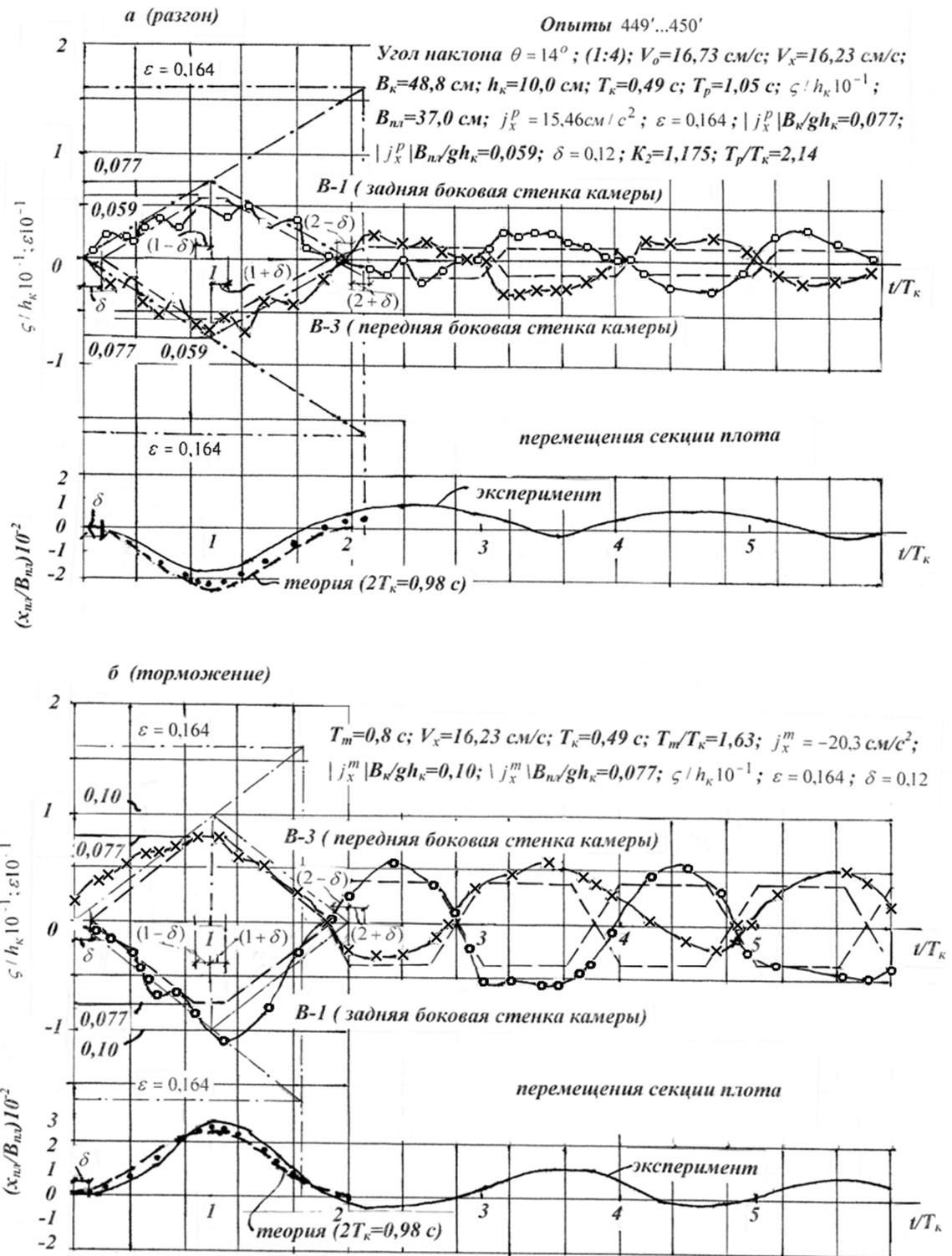


Рис. 5. Результаты модельных исследований в поперечном судоподъёмнике по перемещениям сечения плота: сплошная линия – эксперимент; пунктирная линия – теория с учетом линейного приближения; • – перемещения по реальным параметрам времени разгона и торможения камеры

Однако расчаливать плот в камере следует, чтобы он не переместился от центрального положения до начала движения камеры ТНС, легкими тросами, провисающими при закреплении по форме цепной линии.

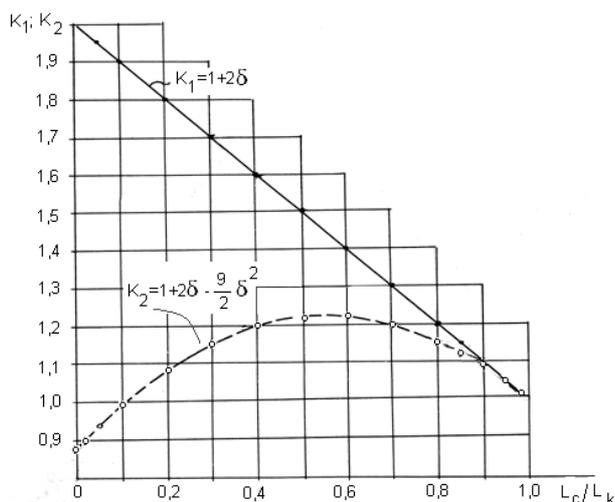


Рис. 6. График определения коэффициентов K_1 и K_2

руемого груза для конкретной камеры исключается возможность аварийного состояния сооружения во время эксплуатации. Введение таймера в систему управления движением камеры позволит обеспечить увеличение грузооборота ТНС.

Выводы. Рациональные режимы времени разгона и торможения камеры ТНС предлагается выбирать с учетом периодов колебаний воды в свободной от перевозимых грузов камере, т.е. время разгона или торможения камеры принимается кратным величине $2nT_k$, где n – натуральное число (1, 2, 3...n).

Для сокращения времени полуцикла работы ТНС рекомендуется в системе управления камеры предусмотреть таймер (ФВС), который позволяет создать благоприятные условия при транспортировке грузов. При правильно подобранных размерах транспорти-

Список литературы

1. Сапцин, В.П. Природоохранные мероприятия при проектировании лесо-судопропускных сооружений / В.П. Сапцин // Сб. трудов междунар. симпозиума «Гидрологические и экологические процессы в водоемах и их водосборных бассейнах». – Новосибирск: РАН СО, 1995. – С. 45.
2. Атавин, А.А. Исследования гидродинамических процессов, возникающих при работе судоподъемника Красноярского гидроузла / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, В.П. Сапцин // Тр. Гидропроекта. – 1978. – № 62. – С. 100-132.
3. Атавин, А.А. Гидродинамические процессы в судопропускных сооружениях / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, А.П. Яненко. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издат. фирма, 1993. – 101 с.
4. Атавин, А.А. Обоснование габаритных размеров камеры наклонных судоподъемников из условия их безаварийной эксплуатации / А.А. Атавин, В.П. Сапцин // Безопасность речных судоходных гидротехнических сооружений: Мат. международной научно - практической конференции. Книга II. – СПб.: СПГУВК, 2008. – С. 57-72.
5. Сапцин, В.П. Условия перевозки лесных грузов в камере транспортного наклонного судоподъемника / В.П. Сапцин // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2009. – № 1. – С. 59-70.
6. Васильев, О.Ф. Приближенные дифференциальные уравнения колебаний воды в судовозных камерах наклонных судоподъемников и камерах шлюзов с сосредоточенными системами наполнения / О.Ф. Васильев // Науч. докл. высшей школы. Сер.: Строительство. – 1958. – № 2. – С. 243 - 251.
7. Atavin, A.A. Calculations of oscillation of water and vessels in canals and chambers of Navigation on structures / A.A. Atavin, A.V. Mikhailov, O.F. Vasiliev // XI Congress of the Intern. Association for Hydraulic Research. – Leningr. (USSR), 1965. P. – 1 - 17.
8. Михайлов, А.В. О неустановившемся движении воды в камерах шлюзов и его влиянии на условия отстоя судна / А.В. Михайлов // Гидравлика сооружений и динамика речных русел. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 5-25.
9. De Ries, J. Etude sur le mouvement de et les forces d'amarrage des bateaux dans un sas mobile / J. De Ries // Annales des travaux publics de Belgique. – 1962. – № 4. – P. 379-408; №5. – P.451-508.
10. Сапцин, В.П. Частотные характеристики плавающих тел в камере лесо - судопропускного сооружения / В.П. Сапцин // Научно - метод. тр. фак-та природообустройства и водных ресурсов. – Йошкар - Ола: МарГТУ, 1999. – Вып. I – С. 27 - 31.
11. Онипченко, Г.Ф. Анализ условий пропуска судов через Красноярский судоподъемник / Г.Ф. Онипченко // Сб. научн. тр. Гидропроекта. Вып 132: Гидравлика водосборных и судопропускных сооружений гидроузлов. – М.: АТОМ, 1988. – С. 71-76.

Статья поступила в редакцию 18.01.11.

V. P. Saptsin, B. F. Lavrentyev

ECOLOGICAL MOTION OPERATIONS OF THE TRANSPORTING INCLINED PLANES CHAMBER FOR TIMBER FREIGHTS SHIPPING

Motion ecological operations of the transporting inclined planes chamber are examined in the conditions which are similar to the conditions with constant acceleration. To reduce time for the freights lifting (from downwater to headwater or vice versa) it's recommended to use the time signals generator (timer register) in the system of the transporting inclined planes chamber motion control during field experiments.

Key words: *shipping inclined planes, drive system of the chamber motion, timer registers, timber barges, assortment and tree-length rafts.*

САПЦИН Валерий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов МарГТУ. Область научных интересов: гидродинамические процессы в замкнутых акваториях, волновые процессы, проектирование и безопасность гидротехнических сооружений, включая речные судоходные гидротехнические сооружения. Автор более 120 публикаций.

E-mail: sapcinvp@marstu.net

ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович – кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных систем МарГТУ. Область научных интересов – электроника, информационно-измерительные системы и комплексы, экология. Автор 256 публикаций, имеет 52 авторских свидетельства.

E-mail: kppevs@marstu.net