

УДК 629.3.018.7

DOI:10.46960/62045\_2021\_3\_4

**П.В. Гуров, И.Д. Краснокутский, М.Ю. Сандаков**  
**РОЛЬ ЖЕСТКОСТИ ПОВОРОТНО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА**  
**ВЕЗДЕХОДНОГО СОСТАВА**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

Показано влияние жесткости поворотного-цепного устройства (ПСУ) на кинематические характеристики вездеходного состава в режимах движения по глубокой воде и перехода через границу водоема (вход и выход из воды). Рассмотрены условия динамического подобия при экспериментальном исследовании перечисленных режимов движения на физической модели.

**Ключевые слова:** вездеходный состав, поворотный-цепное устройство, физический модельный эксперимент, динамическое подобие.

Сцепные устройства между элементами подвижного состава используются человеком на протяжении тысячелетий на суше и на воде (лошадь-телега; локомотив-вагоны; тягач-прицеп; бурлаки-баржа; толкач-баржа; буксир-баржа и пр.) Если рассматривать состав как замкнутую механическую систему, силы и моменты, воспринимаемые и передаваемые сцепным устройством, надо отнести к категории внутренних сил, которые в общем случае приводятся к главному вектору  $\vec{R}$  и главному моменту  $\vec{M}$ . Компоненты (проекции)  $\vec{R}$  и  $\vec{M}$  будем рассматривать в подвижной ортогональной системе координат, связанной с тягачом (буксиром или толкачом). Конструктивное исполнение характеризуется большим разнообразием. По признакам наложенных связей, воспринимаемой нагрузке и изменениям геометрии все они могут быть сведены к следующим типам (табл. 1).

Промышленное освоение Сибири и северных районов в условиях бездорожья требует создания надежного вездеходного транспорта. Хорошие эксплуатационные характеристики в этих условиях обеспечивают гусеничные машины и составы гусеничных машин. Состав образуют один ведущий вездеход с водителем и прицеп с приводом на гусеницы. Ведущая и ведомые машины связаны между собой ПСУ, которое способно передавать все шесть компонентов главного вектора и главного момента внутренних сил (как жесткая заделка).

Таблица 1.

Колич. связей	Компоненты главного вектора и главного момента	Изменение геометрии	Конструктивный пример
1	$\vec{R} = \vec{T}$ – только растяжение троса	Есть	Один буксирный трос
1	$\vec{R} = \vec{T}$ – растяжение (сжатие) балки	Нет	Буксирная балка с двумя шаровыми опорами на концах
2	$\vec{R} = \vec{T}1 + \vec{T}2$ – только растяжение тросов	Есть	V-образный буксирный трос
2	$\vec{R} = \vec{T}1 + \vec{T}2$ – растяжение (сжатие) балок, составляющих раму	Нет	V-образная буксирная рама
3	$R_x, R_y, R_z$	Нет	Фаркоп или шаровая опора
4	$R_x, R_y, M_x, M_z$	Нет	Сцепное устройство морского толкача с баржей
5	$R_x, R_y, R_z, M_x, M_z$	Есть	ПСУ автобусного состава (рис. 1)
6	$R_x, R_y, R_z, M_x, M_y, M_z$	Есть	ПСУ гусеничного состава (рис. 2, 3)

Изменение положения ведомой машины относительно ведущей, необходимое для выполнения поворотов и движения по пересеченной местности, обеспечивается за счет изменения геометрии ПСУ с помощью гидропривода (трех или четырех гидроцилиндров).



Рис. 1. Система сочленения Hubner-group для автобуса ЛиАЗ 6213.71



Рис. 2. ПСУ гусеничного состава ДТ-10 («Витязь»)



Рис. 3. ПСУ гусеничного состава ГАЗ-3344

Использование в конструкции корпусов гусеничного состава легких композиционных материалов и обеспечение водонепроницаемости водоизмещающего объема позволяют обеспечить плавающий режим по внутренним водоемам (при отсутствии течения, ветра и волнения). Особый интерес представляют переход через вертикальные преграды, рвы, процессы спуска гусеничного состава с берега в воду и выход из воды на берег (рис. 4).



Рис. 4. Выход из воды гусеничного состава ГАЗ-3344

В этих режимах используется блокирование гидропривода ПСУ, испытывающего повышенную нагрузку по сравнению с движением по относительно ровной местности. Эта нагрузка изменяется во время движения в широких пределах, что приводит к изменению положения ведущего звена относительно ведомого в связи с конечной жесткостью ПСУ. Прогнозирование параметров движения звеньев вездеходного гусеничного состава на плаву и в переходных режимах при выходе на берег и спуске в воду может быть выполнено путем физического моделирования, которое требует выполнения условий динамического подобия натурального и модельного процессов.

Условия динамического подобия натурального объекта и физической модели определяются родом действующих сил. В рассматриваемых процессах определяющими являются силы тяжести и плавучести. Влияние сил вязкого трения и инерционных гидродинамических сил, обусловленных нестационарностью процесса вследствие малых скоростей движения пренебрежимо мало (квазистационарный процесс). В этом случае определяющим является критерий гидродинамического подобия Фруда [1]:

$$Fr = V / (g \cdot L)^{0.5} \quad (1)$$

где:  $V$  – скорость (м/с);  $g = 9,81$  (м/с<sup>2</sup>);  $L$  – характерная длина (м).

При условиях геометрического и кинематического подобия равенство критерия Фруда для модели и натуре дает следующие масштабные коэффициенты:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{- линейный масштаб } K_L = L_H / L_M \quad (\text{равенство углов } K_\psi = 1); \\ \text{- масштаб линейных скоростей } K_V = V_H / V_M = (K_L)^{0.5}; \\ \text{- масштаб времени } K_T = t_H / t_M = (K_L)^{0.5}; \\ \text{- масштаб сил } K_F = F_H / F_M = (K_L)^3; \\ \text{- масштаб жесткости } K_{EJ} = (K_L)^5; \end{array} \right. \quad (2)$$

где:  $L_H$  и  $L_M$  – геометрический размер длины натуре и модели;

$V_H$  и  $V_M$  – линейные скорости натуре и модели;

$F_N$  и  $F_M$  – силы в натурном и модельном процессах;

$t_N$  и  $t_M$  – время в натурном и модельном процессах.

Кроме сил тяжести и плавучести, на относительные перемещения звеньев состава между собой влияют внутренние силы и моменты, обуславливающие деформацию элементов конструкции гусеничного состава, прежде всего, изгибающий момент  $M_y$  (относительно поперечной горизонтальной оси), который приводит к угловым относительным перемещениям звеньев состава за счет упругой деформации (изгиба) сцепного устройства и связанных с ним элементов корпуса звеньев.

Физическое моделирование плавучих объектов выполняется на моделях меньших размеров по сравнению с натурой. В этом случае полное моделирование ПСУ нецелесообразно. Достаточно обеспечить динамическое подобие из условия равенства угловых перемещений (деформаций) состава в натуре и модели ( $K_\psi = 1$ ). Для перечисленных режимов эксплуатации это будет угол поворота поперечных сечений относительно поперечной горизонтальной оси (изгиб в продольной вертикальной плоскости). Жесткость гусеничного состава с ПСУ на изгиб в продольной вертикальной плоскости может быть определена из простого опыта. Для этого надо измерить вертикальные деформации в характерном сечении ПСУ или угловые на задней вертикальной плоскости вездехода и передней вертикальной стенке ведомой платформы при постановке состава на две узкие поперечные опоры. Первая опора должна находиться под передними роликами вездехода, а вторая – под задними роликами прицепа.

Аналогичный опыт необходимо выполнить при тарировке модели ПСУ. Весовые нагрузки натурального объекта и модели должны быть подобны. При этом достаточно обеспечить подобие масс и их статических моментов относительно средней поперечной плоскости (относительно миделя) и основной плоскости (днища корпуса). Если в этом опыте угловые деформации натуре и модели совпадают, а линейные пропорциональны  $K_L$ , то модель ПСУ будет динамически подобна натурному ПСУ. Подготовленная таким образом модель позволит получить параметры посадки элементов гусеничного состава в воде (осадка, крен, дифферент) с учетом жесткости ПСУ. Полученные параметры посадки будут иметь место не только в статике, но и при движении с малыми скоростями ( $Fr < 0,1$ ), характерными для гусеничных машин, использующих в качестве движителя гусеницы. Заметим, что в этом случае подобие моментов инерции, скорее всего, обеспечено не будет. Это не позволит выполнить моделирование качки на водной поверхности. Данный подход был использован при испытаниях модели гусеничного состава в опытовом бассейне НГТУ [2, 3] в режимах спуска в воду и выхода из воды (рис. 5).

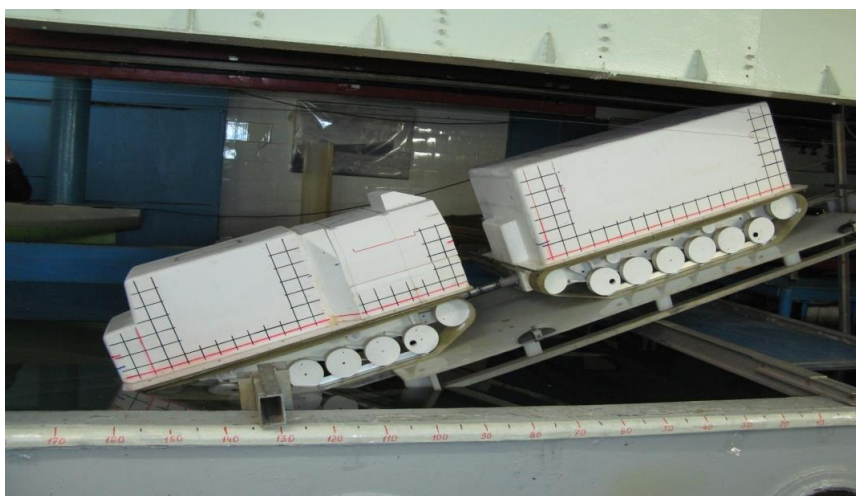


Рис. 5. Модель гусеничного состава входит в воду

Выполненное физическое моделирование гусеничного состава в процессах спуска в воду и выхода из воды позволило получить зависимости параметров посадки звеньев (осадка, крен, дифферент) от перемещения и от времени. При этом использовались две модели ПСУ (трехсвязная и шестисвязная). Количественные характеристики посадки определили границы смоченной поверхности (заливание) и могут служить для оценки эксплуатационных возможностей гусеничного состава и адекватности (проверки) результатов математического моделирования процессов входа и выхода из воды.

### Библиографический список

1. **Войткунский, Я.И.** Справочник по теории корабля. Том 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые двигатели / Я.И. Войткунский. – Л.: Судостроение, 1985. – 763 с.
2. **Ионов, Б.П.** Моделирование геометрии изменения пространственного положения двухзвенного гусеничного состава на плаву и переходных режимах / Б.П. Ионов [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4. Т. 1. С. 25-28.
3. **Краснокутский, И.Д.** Гидродинамическая лаборатория «Опытный бассейн» НГТУ // Транспортные системы. 2018. №2(8). С. 41-50.