

Известно, что величина  $P_k$  связана с давлением жидкости в гидросистеме передачи следующей зависимостью:

$$P_k = 0,159 p_{ж} q_{\max} i_{бр} \eta_{гм} / r_3, \quad (15)$$

где  $p_{ж}$  – давление жидкости в гидросистеме, МПа;

$\eta_{гм}$  – силовой КПД гидромотора.

Таким образом, зная давление в гидросистеме, которое передается в виде электрического сигнала, преобразовав его по зависимости (14) с учетом (15) в электронном устройстве и подав на исполнительный механизм, связанный с шайбой гидронасоса, можно осуществлять автоматическое регулирование оптимальных режимов работы ДВС и ГОП трелевочного трактора по критерию обеспечения минимума удельного расхода топлива.

### Выводы

1. Оптимизация управления гидрообъемной передачей трелевочного трактора должна базироваться на параметрических характеристиках установленного на ней двигателя.
2. Разработана методика построения многопараметровых характеристик двигателя и трелевочного трактора при ограниченном числе опытов, полученных в производственных условиях.
3. Предложена методика оптимизации управления системой ДВС – ГОП трелевочного трактора с использованием многопараметровых характеристик.

Поступила 10 декабря 1996 г.

УДК 630\*378.34:531

*С.И. МОРОЗОВ*

Архангельский государственный технический университет

Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 170 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



## УДАР ПЛОТА О НЕПОДВИЖНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

Рассмотрена задача удара плота о неподвижное препятствие. Решения выполнены с помощью уравнений расширенной теории плоского удара двух тел. Для трех случаев соударения получены расчетные значения импульсов ударных сил и скоростей плота после удара.

The problem of raft stroke on motionless obstacle is considered. The solutions are carried out based on the equations of the extended theory for plane stroke of two bodies. The estimated values of impact forces and raft velocities after stroke have been obtained for three cases of collision.

В работе [3] изложена методика расчета ударных сил, действующих на крупногабаритную сплотовую единицу при ее ударе о неподвижное препятствие. Решение такой задачи необходимо для определения сил, действующих на канаты такелажа плота, их прочности.

При решении задачи удара авторы работы [3] использовали классическую теорию удара. Она основана на применении двух теорем [1]: об изменении количества движения материальной системы:

$$m_1 (\bar{u}_1 - \bar{v}_1) = \bar{S}_1; \quad (1)$$

$$m_2 (\bar{u}_2 - \bar{v}_2) = \bar{S}_2; \quad (2)$$

об изменении моментов количества движения:

$$I_1 (\omega_1 - \omega_{10}) = m_1 (\bar{S}_i^e); \quad (3)$$

$$I_2 (\omega_2 - \omega_{20}) = m_2 (\bar{S}_i^e). \quad (4)$$

Здесь и далее обозначено (в работе [3] даны другие обозначения):

$m_1, m_2$  – массы соударяющихся тел;

$I_1, I_2$  – моменты инерции тел относительно осей, проходящих через их центры масс перпендикулярно плоскости вертикальной симметрии;

$\bar{S}_1, \bar{S}_2$  – импульсы ударных сил в точке соударения;

$m_1 (\bar{S}_i^e), m_2 (\bar{S}_i^e)$  – моменты импульсов относительно центров масс тел;

$\bar{v}_1, \bar{v}_2$  – скорости центров масс тел до удара;

$\bar{u}_1, \bar{u}_2$  – то же после удара;

$\omega_{10}, \omega_1$  – угловые скорости первого тела до и после удара;

$\omega_{20}, \omega_2$  – то же для второго тела.

Нами рассмотрены задачи удара плота о неподвижное препятствие с использованием более общей методики, изложенной в работе [2]. Случаи соударения и расчетные схемы аналогичны использованным в работе [3].

Расчетные схемы отличаются от схем в [3] направлением и обозначением осей координат, а также некоторыми другими деталями.

До удара плот массой  $m_1$  (первое тело) совершает плоское поступательное движение и ударяет о массивное неподвижное тело (второе). Сле-

довательно, для первого тела  $\omega_{10} = 0$ , для второго  $m_2 = \infty$ ,  $I_2 = \infty$ ,  $v_2 = 0$ ,  $\omega_{20} = 0$ ,  $\omega_2 = 0$ . В момент соударения движение плота рассматриваем в плоской системе координат с осями  $\tau_1$  и  $n_1$ .

Ось  $n_1$  (нормальная) лежит на нормали к поверхности тел в точке соударения  $E$  и направлена внутрь первого тела. Ось  $\tau_1$  (касательная) расположена перпендикулярно к оси  $n_1$  и образует с нею правостороннюю систему координат. Орты этих осей обозначены  $\bar{n}_1$  и  $\bar{\tau}_1$ .

Положение точки  $C_1$  (центра масс первого тела) в рассматриваемой системе координат можно определить с помощью как радиуса-вектора  $\bar{r}_1$ , проведенного из точки  $E$ , так и координат  $h_1$  и  $p_1$ , которые равны перпендикулярам, опущенным из точки  $C_1$  на оси  $n_1$  и  $\tau_1$ .

Импульс ударной силы  $\bar{S}_1$ , а также скорость точки  $C_1$  после удара выразим через их проекции на оси координат. Проекции этих величин на ось  $\tau_1$  обозначим  $\bar{S}_\tau$ ,  $\bar{v}_1 \bar{\tau}_1$  и  $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$ , на ось  $n_1$  —  $\bar{S}_n$ ,  $\bar{v}_1 \bar{n}_1$  и  $\bar{u}_1 \bar{n}_1$ .

Как и в работе [3], положим, что плот имеет форму прямоугольника. Геометрические размеры плота при ударе не изменяются, но ввиду взаимного перемещения бревен (и пучков) удар является неупругим. Это значит, что коэффициент восстановления недеформированного состояния тел после удара  $\epsilon$  равен нулю.

При ударе свободного плоского тела о неподвижное массивное препятствие согласно работе [2] имеем следующие расчетные зависимости.

Для определения импульсов ударных сил (при  $\epsilon = 0$ ):

а) с проскальзыванием тел в точке  $E$

$$S_\tau = S_n f; \quad (5)$$

$$S_n = - \frac{A_1}{G - Hf}; \quad (6)$$

б) без проскальзывания

$$S_\tau = \frac{HA_1 - GA_2}{B}; \quad (7)$$

$$S_n = \frac{HA_2 - G_1 A_1}{B}, \quad (8)$$

где  $f$  — коэффициент трения скольжения тел в точке  $E$ ;  
 $G$ ,  $G_1$ ,  $H$ ,  $B$  — инерциальные коэффициенты:

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{h_1^2}{I_1}; \quad G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{p_1^2}{I_1};$$

$$H = \frac{p_1 h_1}{I_1}; \quad B = G G_1 - H^2;$$

$A_1$ ,  $A_2$  — скоростные коэффициенты:

$$A_1 = - \bar{v}_1 \bar{n}_1; \quad A_2 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1.$$

Для определения скоростей точки  $C_1$  после удара

$$\bar{u}_1 \bar{n}_1 = \bar{v}_1 \bar{n}_1 + \frac{S_n}{m_1}; \quad (9)$$

$$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1 + \frac{S_\tau}{m_1}. \quad (10)$$

Для определения угловой скорости вращения плота после удара

$$\omega_1 = \frac{S_\tau \rho_1}{I_1} + \frac{S_n h_1}{I_2}; \quad (11)$$

В зависимости от коэффициента трения  $f$  между поверхностями тел в точке  $E$  возможны два варианта соударения: с проскальзыванием и без проскальзывания. Предельные значения коэффициента трения скольжения  $f_n$  находим из уравнения

$$f_n = S_\tau / S_n$$

или, выражая  $S_\tau$  и  $S_n$  по уравнениям (3) и (4), получаем

$$f_n = \frac{HA_1 - GA_2}{HA_2 - G_1 A_2}. \quad (12)$$

Если  $f < f_n$ , то удар происходит с проскальзыванием, при  $f > f_n$  – без проскальзывания. В зависимости от состояния поверхности тел могут иметь место оба варианта удара.

Рассмотрим отдельные случаи соударения тел.

Расчетные величины вычисляем для следующих значений:  $m_1 = 3 \cdot 10^5$  кг,  $I_1 = 3 \cdot 10^7$  кг · м<sup>2</sup>,  $v_1 = 1,2$  м/с,  $a = 6$  м,  $b = 7,5$  м. Скорость  $\bar{v}_1$  параллельна берегу реки (на рисунках – горизонтальной линии).

Первый случай – угловой удар (рис. 1, а). Он происходит в точке  $E$ . Как известно, через точку можно провести множество линий. Для определения положения оси  $n_1$  рассмотрим вспомогательную схему торцового удара (рис. 1, б). При любом положении  $E$  на торце плота ось  $n_1$  расположена вдоль его длины. Принимаем, что угловой удар является частным случаем торцового при  $h_1 = a$ . Значит, ось  $n_1$  при

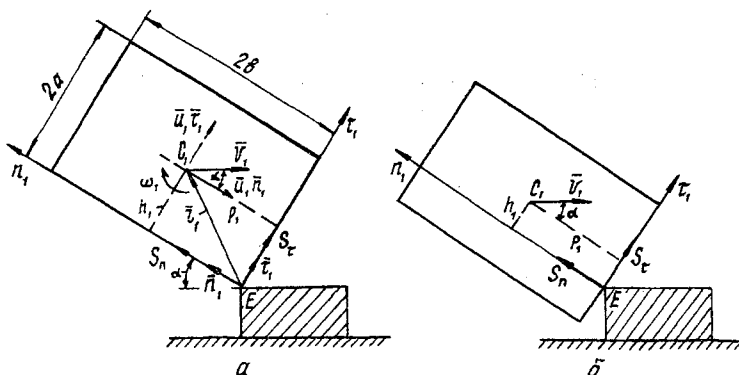


Рис. 1. Расчетные схемы углового удара: а – основная; б – вспомогательная

угловым ударе проходит по боковой стороне прямоугольника, как показано на рис. 1, а. Ось  $\tau_1$  перпендикулярна оси  $n_1$ .

Таким образом, для первого случая  $p_1 = b = 7,5$  м,  $h_1 = a = 6$  м.

Сначала выполним расчет для удара без проскальзывания. Его результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

$\alpha$ , град	Импульс, кН · с			$f_n$	Скорость			Импульс, кН · с, при $f=0,3$	
	$S_\tau$	$S_n$	$S$		$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1$ , с <sup>-1</sup>	$S_\tau$	$S_n$
					м/с				
0	-84,3	293,6	304,5	0,288	-0,225	-0,281	-0,080	-	-
15	-147,3	304,4	388,2	-0,144	-0,180	-0,098	-0,038	-85,2	284
30	-200,3	295,5	357,1	-0,054	0,054	-0,109	-0,109	-88,6	254
45	-239,7	266,4	358,4	-0,040	0,047	-0,113	-0,109	-62,3	200

Здесь  $S = \sqrt{S_\tau^2 + S_n^2}$  – суммарный импульс ударной силы.

Эти данные показывают, что направления импульса  $S_n$  и оси  $n_1$  совпадают, а векторы  $\bar{S}_\tau$  и  $\bar{\tau}_1$  направлены в противоположные стороны. Значение  $f_n$  достаточно велико и с ростом угла  $\alpha$  увеличивается. Если фактическое значение коэффициента трения  $f$  в точке  $E$  меньше  $f_n$ , то удар происходит с проскальзыванием, если больше – без проскальзывания.

В работе [3] расчет выполнен при  $f = 0,3$ , который, как правило, меньше  $f_n$ . Для  $\alpha \geq 15^\circ$  угловой удар плота о препятствие происходит с проскальзыванием. Значения  $S_\tau$  и  $S_n$  для этого варианта удара, вычисленные по формулам (1) и (2), приведены в двух последних колонках табл. 1. Отметим, что проскальзывание уменьшает значение импульса ударной силы  $S_n$ .

Значение скорости центра масс плота после удара  $u_1$  найдено в виде двух составляющих, направленных по осям  $n_1$  и  $\tau_1$ . В тех случаях, когда  $\bar{u}_1 \bar{n}_1$  и  $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$  положительны, они направлены в сторону соответствующих осей координат, и наоборот.

Буквой  $\omega_1$  обозначена угловая скорость плота после удара (угловая скорость плота до удара  $\omega_{10}$  принята равной нулю). Для всех значений угла  $\alpha$  в рассматриваемом диапазоне его изменения имеем  $\omega_1 < 0$ , т. е. плот после удара будет вращаться по часовой стрелке.

Хотя задача для углового удара решена полностью, очевидно, что она является чисто умозрительной. На практике удар двух тел ребрами очень редок, обычно он торцовый или боковой.

Второй случай – удар плота о наклонную плоскость (рис. 2).

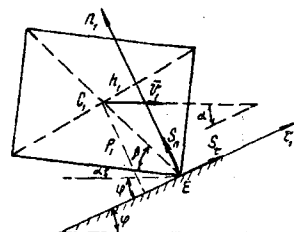


Рис. 2. Расчетная схема для удара плота о неподвижную плоскость

Таблица 2

$\alpha$ , град	$S_t$	$S_n$	$S$	$f_n$	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1, \text{с}^{-1}$
	кН · с				м/с		
0	-211,2	219,3	304,5	0,963	0,231	0,168	-0,0374
6	-197,3	213,5	290,8	0,924	0,212	0,208	-0,0414
10	-184,6	205,5	276,3	0,898	0,185	0,250	-0,0450
15	-173,4	195,3	261,38	0,888	0,152	0,828	-0,0483
20	-164,2	183,4	246,2	0,895	0,111	0,318	-0,0512

К исходным данным, приведенным для первого случая, добавим длину половины диагонали прямоугольника  $r = 9,60468$  м и углы  $\varphi = 30^\circ$ ,  $\beta = 38,6548^\circ$ . Угол  $\alpha$  варьируем в диапазоне от нуля до  $20^\circ$ , координаты  $p_1$  и  $h_1$  вычисляем по формулам

$$p_1 = r \sin(\alpha + \beta + \varphi); \quad h_1 = r \cos(\alpha + \beta + \varphi).$$

Результаты расчета при ударе без проскальзывания приведены в табл. 2.

В принятом диапазоне изменения угла  $\alpha$  значения  $f_n$  близки к единице. В нормальных условиях это практически невозможно, поэтому удар плота о наклонную плоскость обычно сопровождается его проскальзыванием. Значения расчетных величин, полученных с использованием формул (1) и (2) при  $f = 0,3$ , приведены в табл. 3.

Зависимость  $S_n$  от  $f$  при ударе с проскальзыванием приведена в табл. 4.

Таким образом, по мере увеличения коэффициента трения импульс  $S_n$  возрастает.

Сравнивая результаты расчета с данными, приведенными в работе [3], отмечаем, что они совпадают по импульсу  $S$  при ударе без проскальзывания и не совпадают по скоростям  $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$  и  $\omega_1$  при ударе с проскальзыванием. Выяснение причины этого явления требует дополнительного анализа.

Таблица 3

$\alpha$ , град	$S_t$	$S_n$	$S$	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1, \text{с}^{-1}$
	кН · с			м/с		
0	-52,5	175,0	182,0	0,0116	0,864	0,0047
5	-54,0	180,3	188,2	0,00102	0,858	-0,00038
10	-54,9	183,2	181,3	0,0108	0,856	-0,0057
15	-55,0	183,5	191,5	0,0117	0,855	-0,0110
20	-54,324	181,1	189,053	0,0036	0,8582	-0,0036

Таблица 4

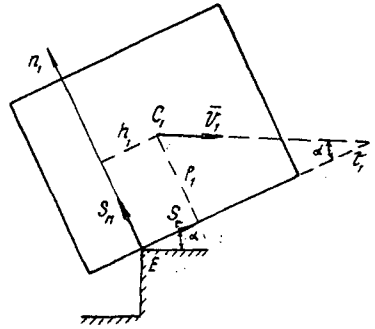
$f$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$S_n, \text{кН} \cdot \text{с}$	180,0	181,6	183,5	186,4	187,4	189,4	191,4	194,0

Третий случай – боковой удар (рис. 3).

Дополнительные исходные данные:  $p_1 = a = 6$  м,  $h_1 = b - l = 7,5 - 2,5 = 5$  м, угол  $\alpha$  варьируем от 0 до  $45^\circ$ .

Результаты расчета при ударе без проскальзывания приведены в табл. 5. Здесь нет значений скоростей центра масс и угловой скорости плота после удара, так как  $f_n$  в большинстве случаев больше единицы, т.е. удар без проскальзывания практически реализовать нельзя.

Рис. 3. Расчетная схема бокового удара



При  $\alpha = 0$  значения  $S_\tau$  и  $S_n$  не равны (как можно было ожидать) нулю. Это объясняется очень высоким коэффициентом трения, при котором происходит ударное взаимодействие плота с препятствием. Если  $f < 1$  (например  $f = 0,3$ , для которого приведен расчет в табл. 6), то здесь  $S_\tau = 0$  и  $S_n = 0$ , что соответствует физическому условию ударного взаимодействия плота с проскальзыванием.

В данной статье не было цели сравнить две методики расчета. Мы хотели лишь показать, что существуют различные методики, имеющие право на применение при решении задач удара. Их использование приводит

Таблица 5

$\alpha$ , град	$S_\tau$ , кН·с	$S_n$ , кН·с	$f_n$	$S$ , кН·с
0	-283,1	83,7	3,381	259,3
15	-285,3	179,3	1,646	345,4
30	-287,3	263,3	1,091	389,7
45	260,0	330,1	0,784	420,27

Таблица 6

$\alpha$ , град	$S_\tau$	$S_n$	$S$	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1$ , с <sup>-1</sup>
	кН·с			м/с		
0	0	0	0	0	1,2	0
15	-30,2	100,9	105,3	-0,104	1,058	-0,0228
30	-58,6	195,4	204,0	-0,391	0,843	-0,0443
45	-83,2	277,5	289,7	-0,848	0,571	-0,0629