

Алтыбаев А.Ш.

ПРИВЕДЕНИЕ МАСС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЕ ТОЛКАЮЩИЕ БРУСЬЯ

Алтыбаев А.Ш.

ТЕЛЕСКОПИКАЛЫК ТҮРТҮҮЧҮ БРУСТАРГА КЕЛТИРИЛҮҮЧҮ ДИНАМИКАЛЫК КҮЧ КЕЛҮҮНҮ АНЫКТОО ҮЧҮН МАССАНЫ КЕЛТИРҮҮ

A.Sh. Altybaev

THE ADDUCTION OF THE MASSES FOR DETERMINATION OF THE DYNAMIC LOADS, ACTING ON TELESCOPIC PUSHING BAR

УДК: 621.878.25

В данной статье рассмотрены методики приведения массы к необходимым местам, так как для решения динамических задач названный параметр играет особый роль, а точнее определяет исход решения задачи.

Значимость определения которого объясняется тем, что предлагаемое бульдозерное оборудование имеет свои конструктивные особенности. В статье также предложены предполагаемые уравнения динамики, для которых необходимо определить приведенную массу.

**Ключевые слова:** бульдозер-погрузчик, телескопические толкающиеся брусья, динамическая нагрузка.

Бул макалада керектүү жерлерге массаны келтирүүнүн ыкмалары каралган, анткени динамикалык маселелерди чечүүдө аталган параметр өзгөчө мааниге ээ, тагыраак айтканда маселенин акыркы жыйынтыгын аныктайт.

Бул жыйынтыкты аныктоонун маанилүүлүгү сунушталып жаткан бульдозер-жүктөгүчтүн конструктивдүү өзгөчөлүккө ээ болушу. Макалада ошондой эле сунушталып жаткан динамиканын теңдемелери үчүн келтирилген массаны аныктоо зарылчылыгы берилген.

**Негизги сөздөр:** бульдозер-жүктөгүч, телескопиялык түртүүчү брус, динамикалык күч келүү.

In this article describes a technique to bring the masses to the desired location, as for solving dynamic named parameter plays a special role, but rather determines the outcome of solving the problem.

Significance of the determination of which is explained by the fact that the proposed bulldozer equipment has its own design features. The article also provides the estimated equations of dynamics, which is necessary to determine the reduced mass.

**Key words:** bulbasur-loader, telescopic bars pushed, dynamic load.

В данной статье перед нами поставлена задача, отличающаяся чем общеизвестная, т.к. бульдозер-погрузчик обладает конструктивными особенностями, также это связано тем, что в процессе работы

могут быть непредвиденные ситуации в связи с изменением скорости подъема груза, маневрировании рабочего органа для погрузки транспортных средств. В режиме погрузчика, при максимально выдвинутом положении телескопических толкающих брусьев, как показана на рисунке 1, расчетная схема представлена следующим образом. Телескопические толкающие брусья одними концами закреплены к базовой машине, а на других концах выдвигаемой части установлен ковш с отвалом и грузом с массой  $m$ . В точке А к толкающимся брусьям шарнирно соединены гидроцилиндры подъема и опускания и при максимальном подъеме ось толкающихся брусьев с вертикальной осью Оу составляет угол  $\alpha$ , а направление движущей силы  $R_d$  с вертикальной осью Оу составляет угол  $\gamma$ .

Например, перед нами поставлена задача – определить динамические нагрузки при изменении скорости подъема или опускания груза, а также при маневрировании рабочего органа с учетом веса рабочего органа (ковш, отвал) и груза, находящегося в ковше.

Согласно расчетной схемы можно составить уравнение динамики используя общепринятые правила, которые осуществляются следующим образом: мысленно разрезая упругие связи и заменяя их действия на массы в одном случае силой упругости  $F=cx$ , а в другом случае моментом от сил упругости при скручивании  $M=c'\varphi$  (где  $x$  и  $\varphi$  - обобщенные перемещения) и добавляя к ним соответственно силу  $m\ddot{x}$  и момент  $J\ddot{\varphi}$  или

$$m\ddot{x} + cx = P_{нзб} \quad (1)$$

$$J\ddot{\varphi} + c'\varphi = M_F \quad (2)$$

где  $P_{нзб}$  и  $M_F$  – обобщенная сила и обобщенный момент.

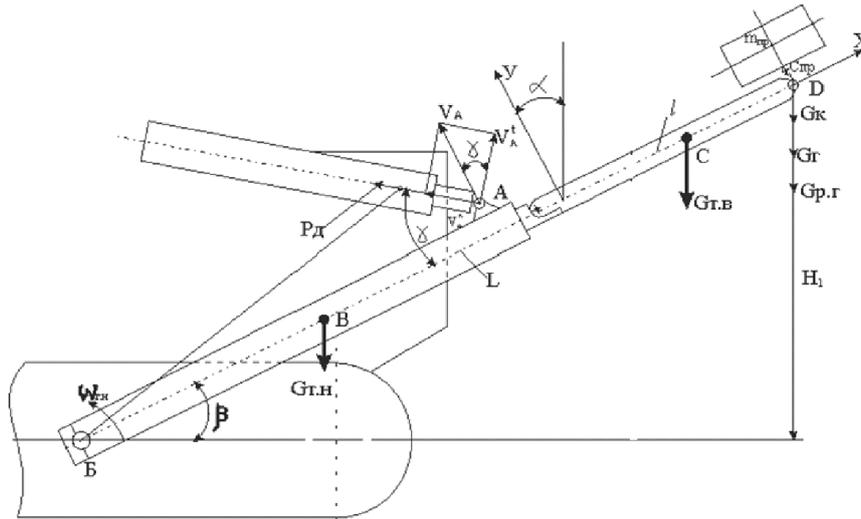


Рис. 1. Расчетная схема для определения приведенных масс и для определения высоты подъема ковша;  $L$ -длина неподвижного телескопического толкающего бруса;  $l$ - подвижного телескопического толкающего бруса

Дифференциальные уравнения с одной независимой переменной, как известно, называются обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Для решения данной задачи можно использовать уравнения (1) или (2). Но для определения величины сил вдоль толкающегося бруса удобно использовать уравнение (1). Тогда, выберем направление координатных осей, как показана на расчетной схеме. Это связано тем, что как отметили, перемещения нагруженных точек происходит по оси  $Oy$

$$m\ddot{y} + cy = G \cos \alpha \quad (3)$$

где  $m$ ,  $c$  и  $G$  – приведенная масса, приведенная жесткость, приведенный вес в точку  $D$ , соответственно.

Как по условию поставленной задачи, для определения динамической нагруженности по длине толкающихся брусьев, необходимо все силы привести к концу толкающихся брусьев, т.к. расчеты необходимо вести при максимально нагруженном состоянии.

Приведение массы, сил, моментов и жесткостей при решении динамических задач имеет особое место. Связано это тем, что для учета действий подвижных масс, расположенных в разных местах механизма их заменяют с одной суммарной величиной с целью упрощения расчетных схем, которая, однако, с точки зрения динамического эффекта будет эквивалентна суммарному динамическому эффекту заменяемых величин.

В дальнейшем будем рассматривать вопрос, каким образом для данной конструкции, массы можно привести к одной точке. Для этого все учитываемые массы механизма необходимо привести к одному, заранее определенному месту, например, к приводу или исполнительному механизму, или же к конечному звену, имеющее прямое влияние к приводу или исполнительному механизму.

Приведенная масса и момент инерции определяются из условия равенства кинетической энергии,

приведенной массы сумме кинетических энергий масс, которое она заменяет [1], или:

$$\frac{1}{2} m_{np} V_{np}^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^R m_i V_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^R J_i \omega_i^2 \quad (4)$$

$$\frac{1}{2} J_{np} \omega_{np}^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^R m_i V_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^R J_i \omega_i^2 \quad (5)$$

где  $m_{np}$  и  $J_{np}$  – приведенная масса и приведенный момент инерции;  $V_{np}$ ,  $\omega_{np}$  – линейная и угловая скорости звена приведения;  $m_i$ ,  $J_i$  – масса и момент инерции  $i$ -го звена механизма;  $V_i$ ,  $\omega_i$  – линейная и угловая скорости  $i$ -го звена механизма.

Из (4) и (5) находим

$$m_{np} = \sum_{i=1}^R m_i \left( \frac{V_i}{V_{np}} \right)^2 + \sum_{i=1}^R J_i \left( \frac{\omega_i}{V_{np}} \right)^2 \quad (6)$$

$$J_{np} = \sum_{i=1}^R m_i \left( \frac{V_i}{\omega_{np}} \right)^2 + \sum_{i=1}^R J_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_{np}} \right)^2 \quad (7)$$

Между  $J$  и  $m$  существует соотношение

$$m_{np} = \frac{J_{np}}{R^2} \quad (8)$$

где  $R$  – радиус исполнительного органа механизма относительно оси его вращения.

Выражение правой части уравнения (4) и (5) – сумма означает, что рассчитанные для каждого звена механизма данные должны просуммироваться, например, для телескопического механизма бульдозера-погрузчика, который состоит из трех основных масс: ковш с отвалом и грузом одна масса, выдвигаемая часть телескопического толкающего бруса – вторая масса, невыдвигаемая часть толкающего бруса – третья масса с соответствующими обозначениями  $G_{т.г}$ ,  $G_{т.в}$  и  $G_{т.н}$ .

Как выше отмечено, для определения динамических нагрузок, воспринимаемый телескопическими толкающимися брусьями, необходимо вышеперечисленные массы привести к ковшу с целью определения максимальной величины действующих сил на толкающиеся брусья.

Для данного механизма согласно расчетной схеме как мы определили к весам  $G_{р.г}$ ,  $G_{т.в}$  и  $G_{т.н}$  входят массы гидроцилиндров установленные непосредственно к названным звеньям, например  $G_{т.н}$  включает в себя массы выдвигаемых гидроцилиндров расположенных внутри невыдвигаемых толкающихся брусьев к весу  $G_{т.в}$  входит вес гидроцилиндров управления (поворота) выдвигаемых частей телескопических толкающих брусьев, а к весу  $G_{р.г}$  также входит весы гидроцилиндров управления ковшом. Далее как показано на расчетной схеме центры тяжести находятся на соответствующих точках В, С и D.

Теперь, для определения приведенной суммарной массы данного механизма, как правило, найдем сначала кинетическую энергию для каждой его массы.

Необходимо начинать с определения скорости с точки А, т.к. данная точка принадлежит к толкающим брусьям и к гидроцилиндру подъема и опускания.

Абсолютная скорость точки А, одновременно принадлежащей как отмечена к гидроцилиндру и к толкающему брусу

$$V_A = \omega_{т.н} \cdot BA \quad (9)$$

$$V_D = \omega_{т.н} \cdot DA \quad (10)$$

и направлена перпендикулярно к BA. Угловая скорость толкающего брусья

$$\omega_{т.н} = \frac{V_D}{DA} \quad (11)$$

$$\omega_{т.в} = \frac{V_A}{BA} \quad (12)$$

и

$$\omega_{т.н} = \frac{V_D}{DA} \quad (13)$$

Тогда справедливо равенство

$$\frac{V_A}{BA} = \frac{V_D}{DA} \quad (14)$$

Из расчетной схемы

$$V_A^x = V_A \cos \gamma \quad (15)$$

$$V_A^y = V_A \sin \gamma \quad (16)$$

Здесь  $V_A^x$  – переносная скорость точки А, определяющая скорость поворота гидроцилиндра вокруг точки О, а  $V_A^y$  – скорость относительного движения штока. Зависимости (15) и (16) используем для определения кинетической энергии гидроцилиндров подъема и опускания, но в данном случае мы не учитываем их массы, т.к. относительно массы толкающих брусьев ковш, отвала и груза малы. Поэтому, используя (15) и (16) получим

$$V_A = \sqrt{V_A^x^2 + V_A^y^2} \quad (17)$$

Таким образом, скорость точки А по модулю в зависимости от скорости штока представляется как в зависимости (17).

Соответственно (17) подставляем в (9) и получим

$$\omega_{т.н} \cdot A = \frac{\sqrt{V_A^x^2 + V_A^y^2}}{BA} \quad (18)$$

(18) подставляем в (14) и получим

$$V_D = \frac{V_A \cdot DA}{BA} = \frac{\sqrt{V_A^x^2 + V_A^y^2} \cdot DA}{BA} \quad (19)$$

Из зависимости (15) угол  $\gamma$  определяем по теореме косинусов, тогда

$$\cos \gamma = \frac{(OA)^2 + (BA)^2 - (BO)^2}{2(OA)(BA)}; \gamma = \arccos \frac{(OA)^2 + (BA)^2 - (BO)^2}{2(OA)(BA)} \quad (20)$$

Аналогично (19) будем определять скорость точек В и С. Тогда,

$$V_B = \frac{V_A \cdot BE}{BA} = \frac{\sqrt{V_A^x^2 + V_A^y^2} \cdot BE}{BA} \quad (21)$$

$$V_C = \frac{V_A \cdot BC}{BA} = \frac{\sqrt{V_A^x^2 + V_A^y^2} \cdot BC}{BA} \quad (22)$$

Теперь, используя теорему об изменении кинетической энергии системы, находим выражение для кинетической энергии отдельных элементов механизма бульдозера-погрузчика:

- для невыдвигаемой части

$$T_E = \frac{1}{2} [J_E + m_E \cdot BE^2] \omega_E^2 \quad (23)$$

- для выдвигаемой части

$$T_C = \frac{1}{2} [J_C + m_C \cdot BC^2] \omega_C^2 \quad (24)$$

- для ковша с отвалом и грузом  $T_D = \frac{1}{2} m_D V_D^2$  (25)

Общая приведенная масса представится в виде

$$m_{п.д} = m + [J_E + m_E \cdot BE^2] \cdot \left(\frac{BE}{BA}\right)^2 + [J_C + m_C \cdot BC^2] \left(\frac{BC}{BA}\right)^2 \quad (26)$$

Как видно, аналогично для приведения массы к любой точке используем зависимости (23), (24) и (25).

#### Литература:

1. Гоberman Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. М.: Машиностроение, 1988. - 464 с.
2. Патент ЕАПВ. Бульдозер-погрузчик с трансформирующимся рабочим органом. // Исаков К., Тургумбаев Ж.Ж., Алтыбаев А.Ш., Бейшеналиев А.А. Бюллетень №9, 2014.
3. Балонев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. М.: Машиностроение, 1981. -223 с.
4. К.Исаков, А.Ш.Алтыбаев, А.А.Бейшеналиев. Определенные действующих динамических нагрузок на механизм поворота отвала бульдозера с трансформир. рабочим оборуд.// Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Том 9. – Материалы VIII международного симпозиума. –М.: РАН, 2013, стр.67-74.

Рецензент: к.т.н., доцент Раджапова Н.А.