

УДК 621.869

*И.Г. Кириченко, к.т.н., проф., М.Ф. Кулешова, к.т.н., доц., О.В. Щербак, к.т.н., доц.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ СИЛ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОГО АВТОГРЕЙДЕРА В СЛУЧАЕ «РЫСКАНИЕ-КРЕН»

Запропоновано уніфіковану схему обчислення узагальнених сил автогрейдера, яка заснована на узагальненій математичній моделі шарнірно-з'єднаних машин. Визначено узагальнені сили автогрейдера при русі, що відповідає випадку "рыскание-крен".

Ключові слова: автогрейдер, узагальнені сили, "рыскание-крен".

Предложена унифицированная схема расчета обобщенных сил автогрейдера, которые основаны на обобщенной математической модели шарнирно-сочлененных машин. Определены обобщенные силы автогрейдера при движении, что соответствует случаю "рыскание-крен".

Ключевые слова: автогрейдер, обобщенные силы, "рыскание-крен".

The work presents the general pattern of the generalized forces of motor grader calculating based on the articulated joint machines generalized mathematical model. The author defines the generalized forces of motor grader at motion according "yawing-list" case.

Key words: motor grader, generalized forces, "yawing-list".

Постановка проблеми. Автогрейдер широко використовується в будівництві та експлуатації автомобільних доріг. В відомій нам технічній літературі дослідження торкалися автогрейдерів, металоконструкція якої представляє цільну раму. Практично не досліджена динаміка автогрейдера, остов якого представляє дві піврамы, з'єднаних вертикальним шарніром.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Аналітичні дослідження шарнірно-сочленених машин (ШСМ) можна розділити на два напрямки: одне напрямки пов'язано з розробкою розрахункової схеми, що відображає конкретний розглядаваний випадок [1,2]. Недоліком цього напрямки є те, що математичні моделі відображають тільки дану розрахункову схему і не можуть бути застосовані в випадку зміни характеру руху машини. Друге напрямки пов'язано з аналітичною концепцією, основою якої є обобщенна математична модель [3]. На основі цієї концепції були досліджені питання динаміки технологічних ШСМ (бульдозер,

фронтальный погрузчик, универсальная дорожная машина) в случаях движения, классифицируемых как «простейшие» движения – рыскание, крен или дифферент [4-9]. Следует отметить, что случаи «простейших» движений *ШСМ* в практике «в чистом виде» встречаются крайне редко. Функциональные назначения технологических *ШСМ* приводят к их сложным движениям, состоящим в наложении «простейших» движений, аналитические исследования которых, однако, практически отсутствуют.

Выделение нерешенных раньше частей общей проблемы, которым посвящена статья – разработка унифицированной схемы определения обобщенных сил.

Формулирование целей статьи. Содержанием данной работы является разработка унифицированной схемы определения обобщенных сил автогрейдера в его рабочем режиме, соответствующем случаю «рыскание-крен».

Основные результаты. На наш взгляд, унифицированная схема вычисления обобщенных сил шарнирно-сочлененного автогрейдера в соответствии с аналитической концепцией состоит в задании обобщенных координат; определении расчетной схемы сил, действующих на колеса, отвал и элементы полурам автогрейдера; в записи компонент сил и точек их приложения; определении обобщенных сил по способам, известным в аналитической механике.

Определим по предложенной схеме обобщенные силы автогрейдера в случае его сложного движения, соответствующем случаю «рыскание-крен».

Шарнирно-сочлененные рамы автогрейдера имеют одну вертикальную ось поворота (рис.1), что определяет специфику выбора систем координат. Введем две системы координат $Ox_1y_1z_1$ и $Ox_2y_2z_2$ с общим началом в точке O , каждая из которых связана с одной из полурам. Точка O – некоторая точка вертикального шарнира автогрейдера. Предположим, что оси Ox_1 и Ox_2 совпадают с продольными осями соответственно каждой из полурам; оси Oy_1 и Oy_2 – вертикальные оси, они являются осями *рыскания*; оси Oz_1 и Oz_2 – горизонтальные оси, перпендикулярные к продольной плоскости. Система координат $O\xi'\eta'\zeta'$ – некоторая условно-неподвижная система координат, жестко связанная с полотном дороги. Система координат $O\xi\eta\zeta$ – с началом в точке O , поступательно перемещающаяся, оси которой параллельны соответствующим осям неподвижной системы координат $O_1\xi'\eta'\zeta'$.

Введем обозначения: *рыскание* обозначено углом ψ ; *крен* – углом φ ; *дифферент* – углом θ .

За обобщенные координаты примем перемещение точки O и углы рыскания полурам и общий для полурам угол крена, то есть: $q_1 = \xi_0$, $q_2 = \eta_0$, $q_3 = \zeta_0$, $q_4 = \psi_1$, $q_5 = \psi_2$, $q_6 = \varphi$.

Полагаем, что связи голономные, удерживающие. В первом приближении форму пятна контакта каждого колеса с полотном дороги не учитываем. Все силы, приложенные к каждому из колес, расположены в плоскости контакта, которая претерпевает те же повороты, что и автогрейдер. Компоненты сил в осях, жестко связанных с каждой из полурам, соответственно запишутся в виде:

$$\bar{T}_i (T_i; 0; 0), i=3..6; \bar{W}_i (-W_i; 0; 0), i=1..6; \bar{P}_{\delta i} (0; 0; P_{\delta i}), i=1..6; \bar{R}_i (0; R_i; 0), i=1..6,$$

где T_i – силы тяги, ведущих колес; W_i – силы сопротивления на колесах; $P_{\delta i}$ – боковые силы; R_i – вертикальные силы, нормальные к полотну дороги, они параллельны оси Oy .

Тогда, компоненты векторов \bar{r}_i точек приложения этих сил к колесам в осях $Ox_i y_i z_i$, $i=1,2$, запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \bar{r}_1 & \left((l_1 \cos \alpha); (-h + h'_1); \left(l \sin \alpha - \frac{H}{2} \right) \right); & \bar{r}_2 & \left((l_1 \cos \alpha); (-h - h'_2); \left(l_1 \sin \alpha + \frac{H}{2} \right) \right); \\ \bar{r}_3 & \left(-l_3; (-h + h'_3); \left(-\frac{H}{2} \right) \right); & \bar{r}_4 & \left(-l_4; (-h - h'_4); \frac{H}{2} \right); \\ \bar{r}_5 & \left(-(l_3 + l'_3); (-h + h'_5); \left(-\frac{H}{2} \right) \right); & \bar{r}_6 & \left(-(l_4 + l'_4); (h - h'_6); \left(\frac{H}{2} \right) \right). \end{aligned}$$

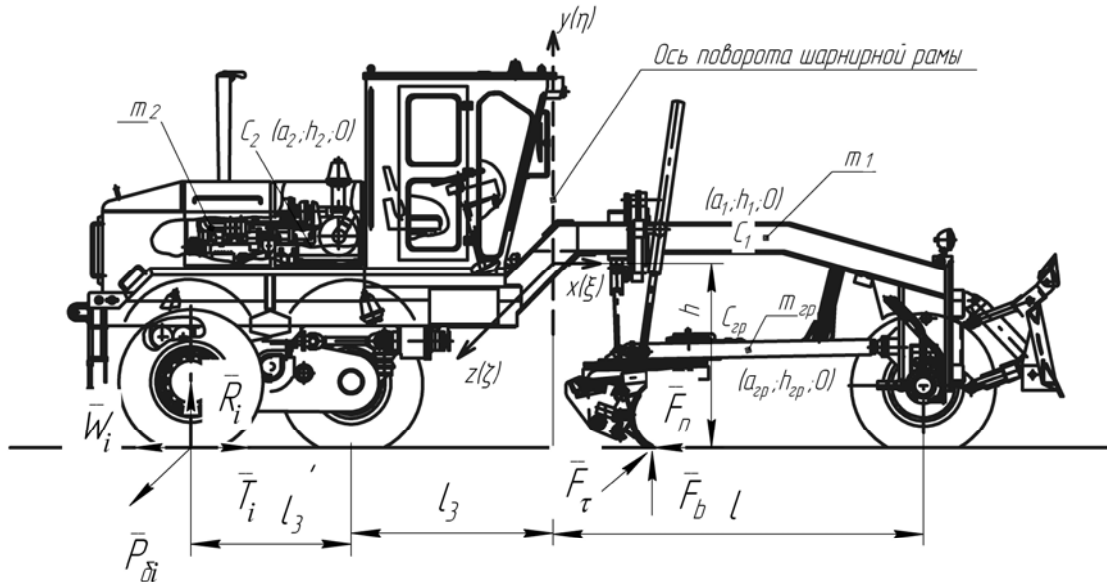


Рисунок 1 – Расчетная схема сил шарнирно-сочлененного автогрейдера

Составим матрицу поворота осей для случая “рыскание – крен”. Она имеет вид:

$$A_{\psi, \varphi} = \begin{bmatrix} \cos \psi_i & \sin \psi_i \sin \varphi & \sin \psi_i \cos \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ -\sin \psi_i & \cos \psi_i \sin \varphi & \cos \psi_i \cos \varphi \end{bmatrix}, i=1,2.$$

Эта матрица служит для записи компонент сил и координат их точек приложения в осях $O\xi\eta\zeta$, движущихся поступательно.

В качестве примера приведем запись компонент вертикальной реакции левого переднего колеса и координаты точки ее приложения

$$R_i^{[T]} \{ (R_i \sin \Psi_1 \sin \varphi); (R_i \cos \varphi); (R_i \cos \Psi_1 \sin \varphi) \}_{i=1,2}$$

$$\bar{r}_1^{-[T]} \left\{ \left(l_1 \cos \alpha \cos \psi_1 + (-h + h_1') \sin \psi_1 \sin \varphi + \left(l_1 \sin \alpha - \frac{H}{2} \right) \sin \psi_1 \cos \varphi \right); \right.$$

$$\left. (-h + h_1') \cos \varphi - \left(l_1 \sin \alpha - \frac{H}{2} \right) \sin \varphi \right\};$$

$$\left. (-l_1 \cos \alpha \sin \psi_1 + (-h + h_1') \cos \psi_1 \sin \varphi + \left(l_1 \sin \alpha - \frac{H}{2} \right) \cos \psi_1 \cos \varphi \right\} .$$

Для определения обобщенных сил можно применить метод поочередного варьирования обобщенных координат.

Определение обобщенных сил приобретает унифицированный характер, поскольку каждая обобщенная сила, соответствующая линейной обобщенной координате, фактически представляет сумму проекций всех сил на соответствующую ось. Для примера представлена запись обобщенной силы, соответствующей обобщенной координате $q_1 = \xi_0$:

$$Q_{\xi_0} = \sum_{i=3}^6 (T_i - W_i) \cdot \cos \psi_2 - \sum_{i=1}^2 W_i \cdot \cos \psi_1 + \sum_{i=1}^2 P_{\delta i} \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \varphi +$$

$$+ \sum_{i=3}^6 P_{\delta i} \cdot \sin \psi_2 \cdot \cos \varphi + \sum_{i=1}^2 R_i \cdot \sin \psi_1 \cdot \sin \varphi + \sum_{i=3}^6 R_i \cdot \sin \psi_2 \cdot \sin \varphi +$$

$$+ F_{\tau} (\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \psi_1 + \sin(\alpha - \beta) \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \varphi) +$$

$$+ F_n \cdot (\sin(\alpha - \beta) \cdot \cos \psi_1 - \cos(\alpha - \beta) \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \varphi) + F_b \cdot \sin \psi_1 \cdot \sin \varphi,$$

где \bar{F}_{τ} , \bar{F}_n и \bar{F}_b – силы приложенные к отвалу автогрейдера.

Угловым обобщенным координатам $q_4 = \psi_1$, $q_5 = \psi_2$, $q_6 = \varphi$ соответствуют обобщенные силы в виде моментов

$$Q_{\psi_1} = \sum_{k=1}^9 M_{\eta}(\bar{F}_k) = \sum_{i=1}^{27} (\zeta_i \cdot F_{\xi i} - \xi_i \cdot F_{\zeta i});$$

$$Q_{\psi_2} = \sum_{k=1}^{16} M_{\eta}(\bar{F}_k) = \sum_{i=1}^{16} (\zeta_i \cdot F_{\xi i} - \xi_i \cdot F_{\zeta i});$$

$$Q_{\varphi} = \sum_{k=1}^{27} M_{\zeta}(F_k) = \sum_{i=1}^{27} (\eta_i \cdot F_{\zeta i} - \zeta_i \cdot F_{\eta i}),$$

окончательную запись которых ввиду их громоздкости не приводим.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Впервые для автогрейдера рассмотрен режим движения «рыскание-крен» и по предложенной схеме составлены обобщенные силы.

2. Предложенная схема определения обобщенных сил носит унифицированный характер и применима к любой шарнирно-сочлененной машине независимо от ее технологического назначения.

3. Представленная схема вычисления обобщенных сил шарнирно-сочлененного автогрейдера является дальнейшим развитием аналитической концепции исследования шарнирно-сочлененных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириченко И.Г. Испытания модульных шарнирно-сочлененных дорожно-строительных машин / И.Г. Кириченко, В.Г. Кухтов, О.В. Щербак // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-98: труды междунар. научно-технич. конф. – Воронеж, 1998. – С.90–91.

2. Щербак О.В. Разработка и обоснование рациональных параметров соединительно-управляющего модуля фронтального погрузчика: автореф. дис. на соискание науч. степ. канд. техн. наук: 05.05.04 / О.В. Щербак; ХГАДТУ. – Х., 2000. – 18 с.

3. Кириченко И.Г. Модульная концепция проектирования технологических машин для строительного производства / И.Г. Кириченко. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2002. – 119 с.

4. Кириченко И.Г. К вопросу составления кинетической энергии колесного шарнирно-сочлененного трактора / И.Г. Кириченко, М.Ф. Кулешова, О.В. Щербак // Вестник ХГПИ. Новые решения современных технологий. Вып. 66. – Х., 1999. – С.99–101.

5. Кириченко И.Г. Математическое моделирование модульных шарнирно-сочлененных пневмоколесных машин / И.Г. Кириченко // Автомобильный транспорт. Серия совершенствования машин для земляных и дорожных работ: сборник научных трудов ХГАДТУ. – Х., 2000. – №5. – С. 82–86.

6. Кириченко И.Г. Обобщенная математическая модель шарнирно-сочлененных машин / И.Г. Кириченко // Труды междунар. науч.-техн. конф. ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2001. – Санкт-Петербург, 2001. – С. 3.

7. Кириченко И.Г. Математическое моделирование модульного фронтального пневмоколесного погрузчика / И.Г. Кириченко // Вестник ХГАДТУ. – Х., 2001. – №14. – С. 25–28.

8. Кириченко И.Г. Определение нагрузок на ходовом оборудовании фронтального погрузчика при его дифференте / И.Г. Кириченко // Вестник ХГАДТУ. – Х., 2001. – №15–16. – С. 24–26.

9. Кириченко И.Г. К определению работы консервативных сил колесных шарнирно-сочлененных машин / И.Г. Кириченко, М.Ф. Кулешова, О.В. Щербак // Вестник ХГАДТУ. – Х., 2002. – №17. – С. 51–54.