

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ НАГРУЗОК В ОПОРНО-НАПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА ТИПА УКД400**

Лысенко М.Н., магистрант, Горбатов П.А., докт. техн. наук,  
проф., Лысенко Н.М., канд. техн. наук, доц., Донецкий  
национальный технический университет

*Разработана математическая модель инженерного уровня, позволяющая определять нагрузки в опорно-направляющих устройствах современного очистного комбайна типа УКД400 при различных режимах его работы.*

Усилия, формирующиеся в опорно-направляющих узлах очистного комбайна (опорные реакции) в процессе его функционирования, являются исходными данными для расчета на прочность корпусных деталей как самого комбайна, так и рештачного става забойного конвейера.

Численные значения опорных реакций оперативно могут быть установлены, особенно на стадии проектирования или доводки нового комбайна, в результате имитационного моделирования процесса его функционирования. Основой для проведения соответствующих модельных экспериментов в первую очередь является математическая модель, адекватно описывающая процесс формирования рассматриваемых нагрузок при различных режимах работы очистного комбайна.

На кафедре «Горные машины» ДонНТУ такая математическая модель была разработана применительно к очистному комбайну типа УКД 300 [1], который как и комбайн УКД400 предназначен для обработки тонких пластов и его корпус также смещен относительно рештачного става забойного конвейера в забой. Однако следует отметить, что в указанной модели отражается формирование опорных реакций в завальных опорах машины как с учетом особенностей переходных процессов в сопряжении «цевочная рейка – цевочное колесо», так и возможной частичной потери устойчивости корпуса машины, сопровождающейся отрывом завального борта рештачного става конвейера от почвы пласта, а также описывается формирование тяговых усилий механизмов подачи с учетом специфики работы их независимых частотно-регулируемых электроприводов. Вследствие этого данная мо-

дель является достаточно сложной и объемной, что автоматически потребует составления довольно сложной прикладной программы для проведения имитационного моделирования процесса функционирования очистного комбайна.

С учетом вышесказанного задача настоящей работы состоит в разработке упрощенной математической модели, позволяющей определять нагрузки в опорно-направляющих устройствах современного очистного комбайна типа УКД400 с достаточной инженерной точностью.

При решении рассматриваемой задачи были приняты следующие основные допущения:

- основной математический аппарат базируется на уравнениях статического равновесия корпуса комбайна в пространстве очистного забоя под воздействием внешних нагрузок и усилий, формирующихся соответственно на исполнительных органах и в опорно-направляющих устройствах машины;

- возможная перекладка зазоров в обратных захватах завальных опор не моделируется, а режимы работы комбайна, характеризующиеся возможным отрывом завального борта рештачного става конвейера от почвы пласта, не рассматриваются;

- при расчете толщин стружек на резцах исполнительных органов принимается, что перемещение комбайна вдоль забоя является равномерным с постоянной скоростью, при этом цевочные колеса обеих механизмов подачи также вращаются равномерно, а возможный фазовый сдвиг между входом в зацепление их зубьев равен нулю;

- влиянием пространственных колебаний исполнительных органов на процесс стружкообразования и изменением фактической геометрии режущего инструмента пренебрегаем;

- коэффициент трения лыж комбайна по круглой направляющей навесного оборудования и полкам забойного конвейера и цевочных реек принимаем постоянным.

- почва пласта рассматривается абсолютно жесткой, а податливость каждой опоры комбайна, сопрягаемых с ней элементов рештачного става или навесного оборудования забойного конвейера и возможной «штыбовой подушки» на почве пласта условно заменяется обобщенным упругим элементом с линейным коэффициентом жесткости  $c_{oi}$ ;

- усилия погрузки учитываются только на опережающем шнеке, обеспечивающем погрузку основной массы разрушенного угля.

Следует несколько подробнее остановиться на втором допущении, которое обуславливает работу комбайна при абсолютном устойчивом положении его корпуса. Поскольку корпус комбайна УКД400 смещен относительно рештачного става конвейера в забой, то в его завальных опорах могут формироваться отрицательные (отрывающие) вертикальные составляющие опорных реакций. Однако в результате исследований, проведенных применительно к комбайну УКД300 [2], установлено, что критическая величина данных составляющих опорных реакций, обуславливающая начало процесса отрыва завального борта рештачного става конвейера от почвы пласта, составляет примерно 19 кН, что позволяет в настоящей работе ограничиться рассмотрением значительной гаммы только тех режимов работы комбайна УКД400, при которых его устойчивость не будет нарушаться.

На рисунке с учетом принятых допущений приведена расчетная схема для определения опорных реакций комбайна УКД400. На схеме приняты следующие обозначения:

$R_a, R_b, R_c, R'_a, R'_b, R'_c$  - проекции равнодействующих усилий резания, значения которых и координаты точек приложения определяются согласно [3], а при наличии пластов сложного строения и с учетом рекомендаций, приведенных в работе [4];

$F_o, F_t$  - соответственно осевая и тангенциальная составляющие усилия, формирующегося на опережающем шнеке при погрузке разрушенного угля;

$R_1, R_2, R_3, R_4$  - вертикальные (перпендикулярные почве пласта) составляющие опорных реакций, формирующихся в  $i - x$  ( $i=1...4$ ) опорах. Здесь и далее нумерация опор увязана с направлением движения комбайна, а именно: ближние по отношению к опережающему шнеку завальная и забойная опоры соответственно опора №1 и опора №4; дальние по отношению к опережающему шнеку завальная и забойная опоры соответственно опора №2 и опора №3;

$T_1, T_3$  - горизонтальные (перпендикулярные груди забоя) составляющие опорных реакций, формирующиеся в 1 - ой и 3 - ой опорах;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  - силы трения, формирующиеся на скользящих поверхностях лыж соответствующих опор;

$\theta_{16}, \theta_{36}$  - силы трения, формирующие на боковых поверхностях обратных захватов соответствующих опор (опоры 1 и 3);

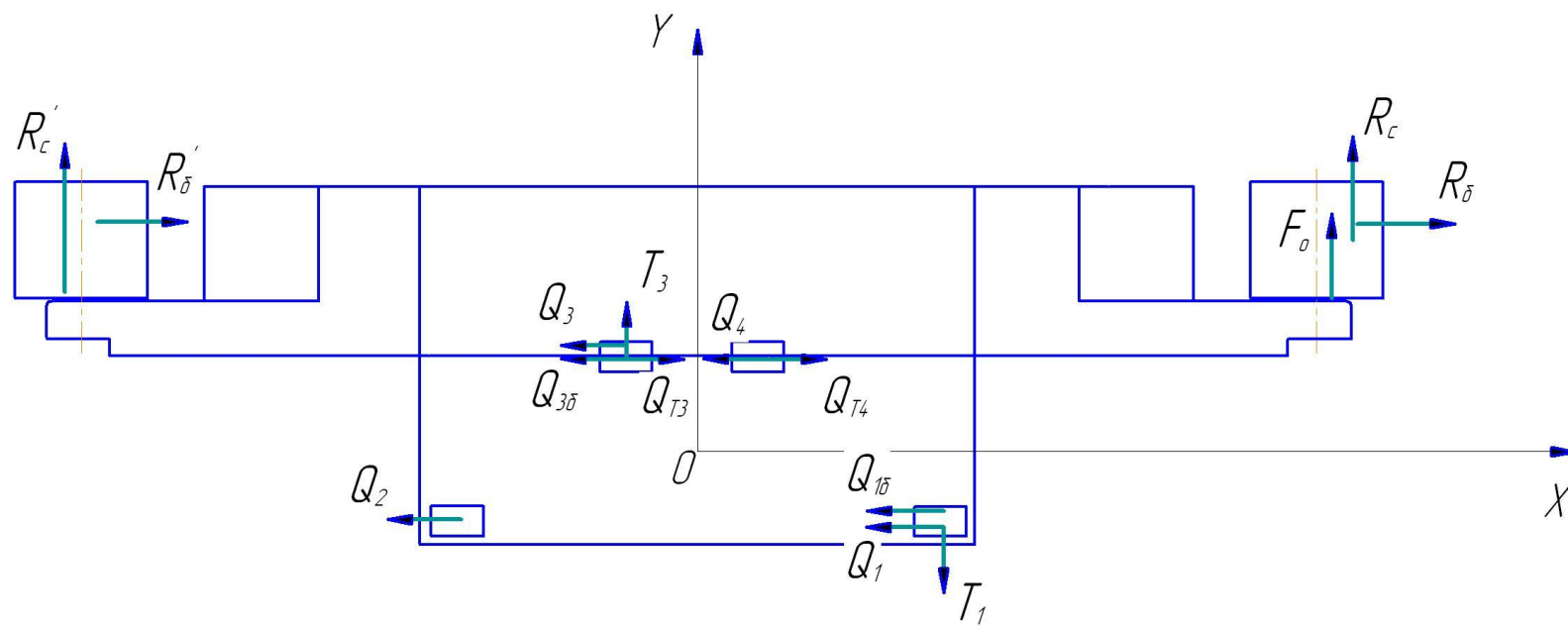
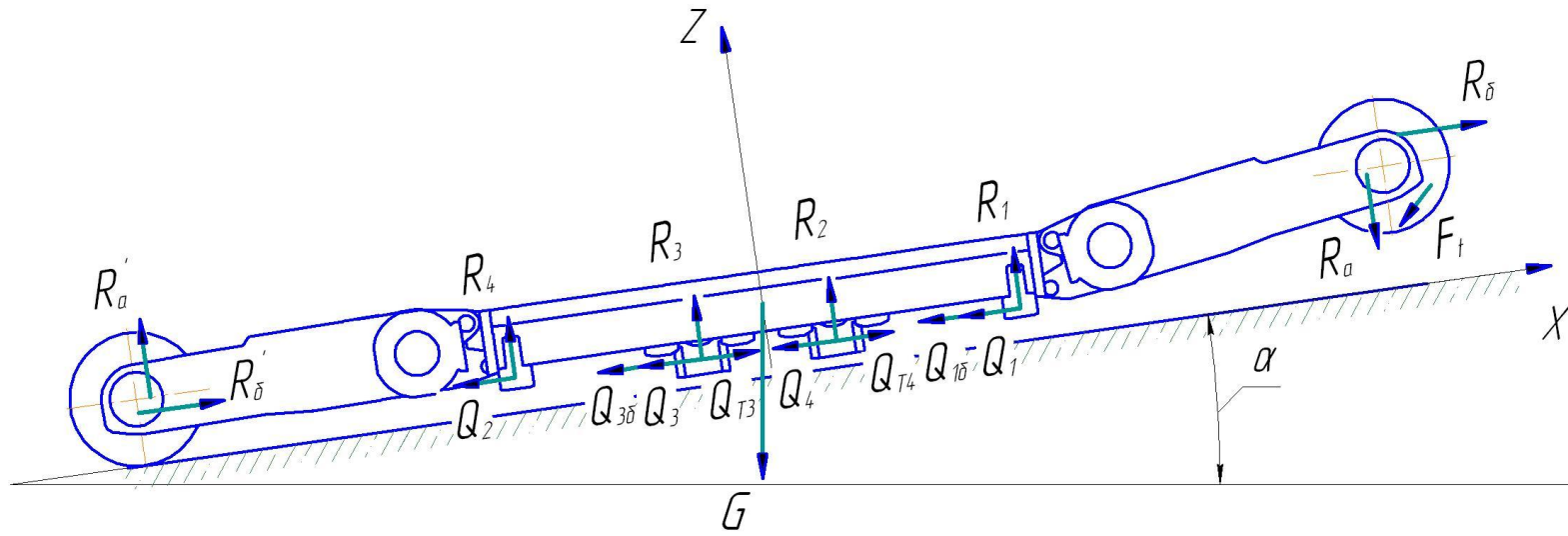


Рисунок – Расчетная схема

$Q_{T3}, Q_{T4}$  – тяговые усилия, формирующиеся на двигателях механизма перемещения комбайна;

$G_k$  – сила тяжести комбайна;

$\alpha$  – угол наклона пласта;

OXYZ – прямоугольная система координат, начало которой лежит на почве пласта и равноудалено относительно опор комбайна соответственно по оси OX и оси OY.

Если все силы трения представить в виде произведения коэффициента трения и соответствующей опорной реакции, то общее количество неизвестных применительно к рассматриваемой расчетной схеме будет равно 8, а именно: шесть опорных реакций ( $R_1, R_2, R_3, R_4, T_1, T_3$ ) и два тяговых усилия ( $Q_{T1}, Q_{T2}$ ).

Из принятых допущений следует, что  $Q_{T1} = Q_{T2}$ . Тогда для нахождения перечисленных неизвестных нужно составить систему из 7 уравнений. В данную систему войдут шесть уравнений статики (1), описывающие равновесие корпуса машины под воздействием всех вышеуказанных усилий, и одно дополнительное уравнение (2) для разрешения статической неопределимости четырехопорной системы комбайна, которое вытекает из условия расположения скользящих поверхностей опорных лыж комбайна в одной плоскости.

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + F_z = 0; \\ T_3 - T_1 + F_y = 0; \\ Q_{T3} + Q_{T4} + F_x - f|(R_3 + Q_{T3} \cdot \text{tg}\varphi_3)| - f|(R_4 + Q_{T4} \cdot \text{tg}\varphi_4)| - f \cdot |R_1| - f \cdot |R_2| - \\ - f \cdot T_1 - f \cdot T_3 = 0; \\ R_1 \cdot y_{o1} + R_2 \cdot y_{o2} + R_3 \cdot y_{o3} + R_4 \cdot y_{o4} + T_1 \cdot z_{16} - T_3 \cdot z_{36} + M_x = 0; \\ - R_1 \cdot x_{o1} - R_2 \cdot x_{o2} - R_3 \cdot x_{o3} - R_4 \cdot x_{o4} - |R_1| \cdot f \cdot z_{1T} - |R_2| \cdot f \cdot z_{2T} - \\ - f|(R_3 + Q_{T3} \cdot \text{tg}\varphi_3)| \cdot z_{o3} - f|(R_4 + Q_{T4} \cdot \text{tg}\varphi_4)| \cdot z_{o4} - f \cdot T_1 \cdot z_{16} - \\ - f \cdot T_3 \cdot z_{36} + Q_{T3} \cdot z_{o3} + Q_{T4} \cdot z_{o4} + M_y = 0; \\ |R_1| \cdot f \cdot y_{o1} + |R_2| \cdot f \cdot y_{o2} + T_1 \cdot f \cdot y_{o1} + T_3 \cdot f \cdot y_{o3} - T_1 \cdot x_{o1} + T_3 \cdot x_{o3} - Q_{T3} \cdot y_{o3} - \\ - Q_{T4} y_{o4} + f|(R_3 + Q_{T3} \cdot \text{tg}\varphi_3)| y_{o3} + f|(R_4 + Q_{T4} \cdot \text{tg}\varphi_4)| y_{o4} + M_z = 0; \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\begin{vmatrix} x_{o1}-x_{o2} & y_{o1}-y_{o2} & z_{o1}-z_{o2} \\ x_{o3}-x_{o2} & y_{o3}-y_{o2} & z_{o3}-z_{o2} \\ x_{o4}-x_{o2} & y_{o4}-y_{o2} & z_{o14}-z_{o2} \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

где:  $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$  - соответствующие суммарные проекции усилий резания, погрузки и силы тяжести комбайна, а также суммарные моменты этих сил в рассматриваемой прямоугольной системе координат OXYZ;

$x_{oi}, y_{oi}$  - соответствующие координаты  $i$ -ой опоры в прямоугольной системе координат OXYZ;

$z_{1\bar{o}}, z_{3\bar{o}}$  - координаты точек приложения составляющих опорных реакций соответственно  $T_1$  и  $T_3$ ;

$z_{1T}, z_{2T}$  - координаты точек приложения сил трения, формирующихся на скользящих поверхностях лыж соответственно 1-ой и 2-ой опоры, которые в случае прижатия этих опор к рештакам забойного конвейера равны  $z_{o1}$  и  $z_{o2}$ , а при отрыве опор от рештаков будут меньше, чем  $z_{o1}$  и  $z_{o2}$  на постоянную величину, определяемую конструкцией обратных захватов этих опор

$f$  - коэффициент трения на поверхностях контакта опорно-направляющих устройств комбайна с рештачным ставом и цевочной рейкой;

$\varphi_3, \varphi_4$  - углы наклона сил, формирующихся в точках контакта звездочек с цевками, относительно оси OX (представляют собой периодические функции угла поворота звездочек)

Следует отметить, что величины  $z_{1\bar{o}}$  и  $z_{2\bar{o}}$  не входят в перечень вышеперечисленных неизвестных, поскольку они связаны с базовыми неизвестными  $z_{o1}$  и  $z_{o2}$  следующими зависимостями:

$$z_{1\bar{o}} = z_{o1} - (l_{\bar{o}} + \Delta); \quad z_{2\bar{o}} = z_{o2} - (l_{\bar{o}} + \Delta),$$

где  $l_{\bar{o}}$  - размер, обусловленный конструкцией узла сопряжения обратных захватов завальных опор комбайна с круглой направляющей конвейера;

$\Delta$  - зазор между опорными поверхностями лыж завальных опор и круглой направляющей конвейера, который в случае прижатия этих опор к данной направляющей принимается равным нулю, а при их отрыве - 10 мм

Указанное значение зазора относится к случаю, когда угол взаимного поворота в вертикальной плоскости рештаков конвейера ра-

вен 0. В противном случае (при работе на пластах с неспокойной гипсометрией) фактическая величина зазора уменьшается.

Исходя из вышеизложенных допущений, для определения текущих значений координат  $z_{oi}$  ( $i=1 - 4$ ) могут быть использованы следующие уравнения:

$$z_{oi} = z_{oik} - \frac{R_i}{c_{oi}}$$

где  $z_{oik}$  – конструктивное значение координаты, характеризующее расположение скользящей плоскости лыжи  $i$ -ой опоры относительно почвы пласта без учета ее обобщенной упругой деформации;

$c_{oi}$  – линейный коэффициент жесткости обобщенного упругого элемента, в состав которого, в зависимости от конструкции опоры, могут входить различные узлы рештачного става или навесного оборудования забойного конвейера и возможная «штыбовая подушка» на почве пласта.

Таким образом, на основании полученного алгоритма достаточно оперативно, используя соответствующую прикладную программу, можно рассчитать нагрузки, формирующиеся в опорно-направляющих устройствах очистных комбайнов рассматриваемого типа при различных режимах их работы и широком спектре горно-геологических условий.

Список источников:

1. Математическая модель для определения нагрузок в опорно-направляющих устройствах и механизме перемещения очистного комбайна типа УКД300// Кондрахин В.П., Лысенко Н.М., Косарев А.В., Косарев В.В., Стадник Н.И.// Труды Донецького національного технічного університету. Випуск 99, серія: горно-електромеханічна. Донецьк, 2005. – С. 111-120.
2. Обоснование структуры и параметров двухдвигательного механизма перемещения очистного комбайна УКД300 с повышенными тяговыми характеристиками: Отчет/ ДонНТУ; Руководитель работы В.П. Кондрахин. – Донецк, 2002. – 177с.
3. КД12.10.040-99. Изделия угольного машиностроения. Комбайны очистные. Методика выбора параметров и расчета сил резания и подачи на исполнительных органах (взамен ОСТ12.44.258-84). Введен с 01.01.2000.-Донецк: Минуглепром Украины, 1999. – 75с.
4. Моделирование разрушения углей режущими инструментами/ Отв. ред. Ю.Д. Красников.- М: Наука, 1981. – 181с.