

затраты потребителя нами определены на основе идеальных аналогов. Как уже ранее было отмечено, минимальные затраты тепла на цели отопления и горячего водоснабжения могут быть определены на основе других аналогов, с иными допущениями и параметрами их функционирования. Именно они требуют согласования и стандартизации.

Однако полученные значения этих КПД очень важны, поскольку показывают степень приближения энергоэффективности СТС к пределу. Это примерно то же самое, что КПД цикла Карно дает для оценки реальных тепловых установок.

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Энергоиздат, 1982. 360 с.
2. Андрущенко А.И., Николаев Ю.Е., Семенов Б.А. Принципы создания высокоэкономичных систем централизованного теплоснабжения городов // Промышленная энергетика. 2003. №5. С.8-12.
3. Степанов В.С., Степанова Т.Б., Старикова Н.В. Постановка задачи и методические подходы для термодинамического исследования системы теплоснабжения // Энергосистемы, электростанции и их агрегаты: сб. тр. НГТУ: Новосибирск, 2005. Вып.9. С. 159-166.

4. Степанов В. С., Степанова Т.Б. Эффективность использования энергии. Новосибирск: Наука, 1994. 257 с.

5. Степанов В.С., Старикова Н.В. Оценка термодинамической эффективности систем отопления и горячего водоснабжения // Изв. вузов. Строительство. 1994. №11. С. 110-114.

6. Калинина Е. И., Бродянский В.М. Термоэкономический метод разделения затрат в многоцелевой технической системе // Изв. вузов. Энергетика. 1974. № 3. С. 58–63.

References

1. Sokolov E.Ya. Installation of heating systems. – М.: Energoizdat, 1982. – 360 p.
2. Andrushchenko A.I., Nikolaev U.E., Semyonov B.A. Principles of designing highly economical systems for central supply of cities// Promyshlennaya energetika, 2003, № 5. – P. 8-12.
3. Stepanov V.S., Stepanova T.B., Starikova N.V. Problem statement and methodological approaches to heat supply systems thermodynamic research // Energosistemy, elektrostantsii i ikh agregaty // Sbornik trudov NGTU: Novosibirsk, 2005. – Vyp. 9. – P. 159-166.
4. Stepanov V.S., Stepanova T.B. Energy utilization efficiency. Novosibirsk: Nauka, 1994. 257 p.
5. Stepanov V.S., Starikova N.V. Heating systems and hot-water supply thermodynamic efficiency assessment// Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. – 1994. № 11. - P. 110-114.
6. Kalinina E.I., Brodyanski V.M. Thermodynamic method of costs separation in a multipurpose technical system] // Izvestiya vuzov. Energetika. 1974. № 3. P. 58–63.

УДК 658.386.3.633.33

Моделирование нагрузок роторного экскаватора при взаимодействии с забоем

А.В. Минеев¹, Е.Е. Милосердов¹, И.А. Макляк¹

Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 79, Красноярск, Россия. E-mail: Djops1983@mail.ru.
Статья поступила 18.12.2011, принята 16.05.2012

Одним из резервов, позволяющих повысить надёжность дорогостоящей техники в процессе её эксплуатации, является моделирование основных механизмов оборудования роторных экскаваторов и существующих приводных систем с учётом определения основных динамических нагрузок и внедрения датчиков, расположенных в строго определенных местах на роторном экскаваторе большой единичной мощности. С помощью четкого моделирования и использования необходимых датчиков мы можем получить достаточно реальную картину взаимодействия основных функциональных узлов и механизмов роторного экскаватора и определить факторы, негативно влияющие на её нормальную работу. Кроме того, полученная информация позволит проектировщикам и изготовителям новых видов данного оборудования иметь ту необходимую информацию о функциональном состоянии оборудования, которую они ранее не имели возможности получить. Показано моделирование нагрузок роторного экскаватора большой единичной мощности при взаимодействии с забоем в процессе эксплуатации. С помощью комплексного моделирования основных узлов роторного экскаватора в процессе экскавации и при его перемещении, возможно, произвести оценку технического состояния и свести к минимуму аварийные ситуации в условиях эксплуатации столь сложной техники. Рассмотрены и определены основные зависимости сил, воздействующих на роторный экскаватор при его эксплуатации в забое, а также рассмотрены зависимости, возникающие при взаимодействии опор лыж роторного экскаватора с грунтом с учетом возникающих отклонений по крену и тангажу. Определяются основные зависимости при эксплуатации роторного экскаватора большой единичной мощности, на основании которых происходит оценка основных нагрузок на экскаватор роторный ЭРШРД 5250.

Ключевые слова: роторный экскаватор, опоры лыж, крен, тангаж, моделирование.

Load modeling for a rotary excavator in a pitface

A.V. Mineev¹, E.E. Miloserdov¹, I.A. Maclyak¹

Siberian Federal University, 79 Svobodny av., Krasnoyarsk, Russia. E-mail: Djops1983@mail.ru.
The article received 18.12.2011, accepted 16.05.2012

Modeling of basic mechanisms for the rotary excavator equipment and existing drive systems taking into consideration the determination of major dynamic loads and gauges locally installed on a rotary excavator of a large unit capacity is one of the resources to enhance costly equipment reliability. Applying validated modeling and all the necessary gauges, it is possible to obtain an actual picture of a contact among the functional units and mechanisms of a rotary excavator. It also enables to identify factors having negative effect on rotary excavator normal operation. Besides, the obtained data will allow design engineers and manufacturers of new equipment to get the necessary information on the functional equipment state they couldn't obtain earlier. The article proposes the load modeling for a rotary excavator of a large unit capacity at a working face contact. Using complex modeling of rotary excavator basic units in the process of excavation and moving enables to implement the technical state assessment and minimize incidents under the conditions of such complex machinery maintenance. The major forces dependences influencing a rotary excavator at a working face contact have been examined and determined. The relationships arising at a contact between rotary excavator skids supports and soil have been considered as well, taking into account the roll and pitch deviation. The article shows some basic dependence while operating a rotary excavator of a large unit capacity. They are essential to assess major loads for the rotary excavator ERSRD-5250.

Keywords: rotary excavator, skids, slope, roll, modeling.

Упрощенная кинематическая схема экскаватора с его рабочими органами приведена на рис. 1. Начало координат по начальным условиям расположено в центре окружности, образованной телами качения поворотной платформы, и имеет координаты (X_0, Y_0, Z_0) . Ось X расположена в горизонтальной плоскости и направлена параллельно боковой стене забоя, положительное направление – на обрабатываемую стену. Ось Y – вертикаль, ось Z расположена в горизонтальной плоскости перпендикулярно оси X , положительное направление – вправо.

Все последующие перемещения экскаватора и его рабочих органов, а также моделирование выработки забоя, как в процессе резания, так и при установочных и маневровых перемещениях, отсчитываются от начального положения центра координат.

Уравнения движения условных точек положения ковшей ротора записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} X &= (\pm a + L \cdot \cos \beta_c + R \cdot \sin \beta_r) \cdot \cos \psi + V_x \cdot t; \\ Z &= (\pm b + L \cdot \cos \beta_c + R \cdot \sin \beta_r) \cdot \sin \psi; \\ Y &= \pm c + L \cdot \sin \beta_c + R \cdot \cos \beta_r, \end{aligned} \quad (1)$$

где a, b, c – координаты оси качения стрелы ротора от начального центра координат; L – длина стрелы ротора; β_c – угол наклона стрелы относительно горизонтальной плоскости (угол подъема и опускания стрелы вниз и вверх); β_r – угол поворота роторного колеса; ψ – угол разворота стрелы ротора, поворот в плоскости (X, Z) ; R – радиус, описываемый условными точками ковшей ротора; V_x – скорость движения платформы вперед, вдоль оси X ; t – время движения.

Запишем зависимости углов β_c, β_r, ψ от времени t :

$$\beta_c = \omega_c \cdot t, \quad (2)$$

$$\beta_r = \omega_r \cdot t, \quad (3)$$

$$\psi = \omega_n \cdot t, \quad (4)$$

где $\omega_n, \omega_c, \omega_r$ – угловые скорости вращения платформы, стрелы ротора, вращения ротора.

Рельеф обрабатываемого забоя моделируется координатными точками секторов, грани секторов соизме-

римы с расстояниями между условными точками резцов ковшей. Координаты промежуточных точек сектора определяются методом интерполяции [2].

Уравнения движения разгрузочной консоли:

$$\begin{aligned} X_{p.k} &= (\pm a_{p.k} + L_{p.k}) \cdot \cos \psi_{p.k} + V_x \cdot t, \\ Z_{p.k} &= (\pm b_{p.k} + L_{p.k}) \cdot \sin \psi_{p.k}, \\ Y_{p.k} &= \pm c_{p.k}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $a_{p.k}, b_{p.k}, c_{p.k}$ – координаты оси качения разгрузочной консоли от начального центра координат; $L_{p.k}$ – длина разгрузочной консоли.

Угол поворота разгрузочной консоли:

$$\psi_{p.k} = \omega_{p.k} \cdot t, \quad (6)$$

где $\omega_{p.k}$ – угловая скорость вращения разгрузочной консоли.

Нулевое значение углов в уравнениях (1 – 5) соответствует положению осевых линий рабочих органов, совпадающих с направлением координат X, Y, Z . Направление ветра задается в этой же системе координат.

Для того чтобы модель была больше приближена к реальности, необходимо учитывать воздействие ветра. Характеристикой ветра является его скорость V_6 .

При установочных и маневровых перемещениях экскаватора в забое должны быть дополнительно смоделированы еще три движения:

- поворот установочной платформы;
- перестановка лыж экскаватора;
- подъем-опускание экскаватора гидравлическими домкратами.

координаты Y , дополняются новым видом этих моделей:

по оси Y –

$$Y^1 = V_{z0} \cdot t, \quad (7)$$

по оси X –

$$X^1 = (\pm a + L \cdot \cos \beta_c + R \cdot \sin \beta_r) \cdot \cos \psi_{nm} + V_x \cdot t, \quad (8)$$

по оси Z –

$$Z^1 = (\pm b + L \cdot \cos \beta_c + R \cdot \sin \beta_r) \cdot \sin \psi_{nm}, \quad (9)$$

где V_{z0} – скорость подъема и опускания платформы с гидродомкратами; ψ_{nm} – угол поворота платформы.

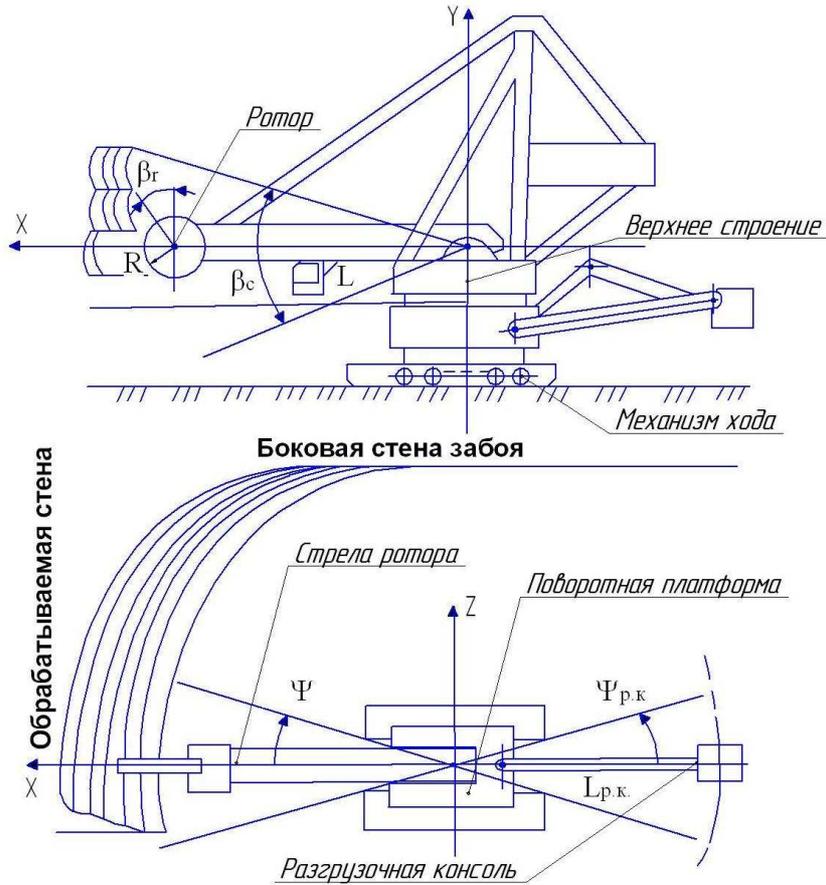


Рис. 1. Кинематическая схема экскаватора в забое.

При этом уравнения, формирующие изменение

Пространственное положение рабочих органов и самого экскаватора определяется не только перемещениями при работе приводов рабочих органов, но и состоянием поверхности грунта забоя, на который он опирается 91 лыжами. Отклонения поверхности грунта от горизонтальной плоскости вызовут соответствующие отклонения оси вращения поворотной платформы от вертикали, что повлечет за собой изменение траекторий движения рабочих органов [1]. Условная схема опоры лыж экскаватора на грунт забоя приведена на рис. 2.

Исходя из условия, что экскаватор работает на мягком грунте и нагрузка по лыжам распределена равномерно, расчет ведется для четырех точек – a_n, b_n, c_n, d_n . Прямоугольник a_n, b_n, c_n, d_n ограничивает площадь опоры экскаватора на грунт. Координаты этих точек формируются в базе данных по разрезу. По разнице координат оси Y указанных точек и горизонтальной плоскости определяется среднеарифметическое отклонение по плоскости, образованной осями Y и Z , и по плоскости, образованной осями YX .

Угол, расположенный в плоскости XOY ν – угол тангажа.

Угол, расположенный в плоскости ZOY θ – угол крена.

$$\sin\theta = \frac{\langle Y \rangle_n - \langle Y \rangle_{\Delta}}{l_B}, \quad (10)$$

$$\sin \nu = \frac{\langle Y \rangle_n - \langle Y \rangle_{\Delta}}{l_{\Delta}}. \quad (11)$$

Среднеарифметическое отклонение правой лыжи по высоте для крена определяется уравнением:

$$\langle Y \rangle_n = \frac{(Y_o - Y_{en}) + (Y_o - Y_{an})}{2}. \quad (12)$$

Соответственно, для левой лыжи по высоте для крена:

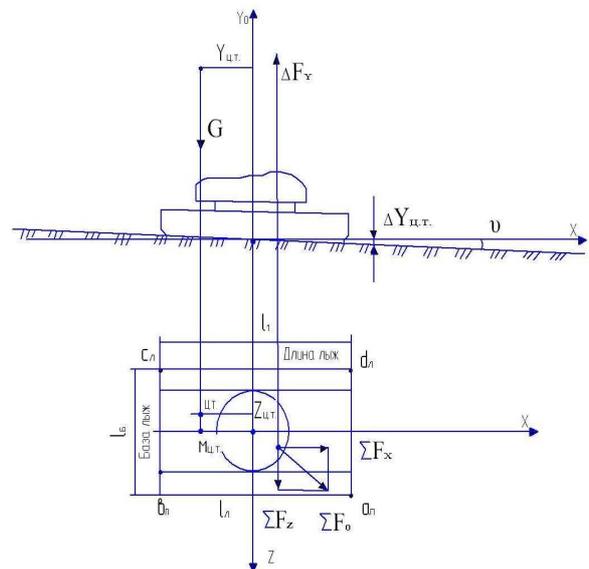


Рис. 2. Опора лыж экскаватора на грунт забоя.

$$\langle Y \rangle_l = \frac{(Y_o - Y_{cl}) + (Y_o - Y_{dl})}{2}, \quad (13)$$

где $\langle Y \rangle_l, \langle Y \rangle_n$ – среднеарифметическое отклонение правой и левой лыж по высоте; l_B – ширина базы лыж экскаватора; l_L – длина лыж экскаватора.

Среднеарифметическое отклонение левой и правой лыж для тангажа определяется выражением:

$$\langle Y \rangle_l = \frac{(Y_o - Y_{en}) + (Y_o - Y_{el})}{2}, \quad (14)$$

$$\langle Y \rangle_n = \frac{(Y_o - Y_{an}) + (Y_o - Y_{al})}{2}. \quad (15)$$

Так как наличие углов крена и тангажа приведет к изменению траектории движения и положения рабочих органов экскаватора, в уравнения (1 – 5) дополнительно вводятся функции \sin и \cos углов крена и тангажа.

Устойчивость против опрокидывания характеризуется коэффициентом устойчивости K_y :

$$K_y = \frac{M_y}{M_o}. \quad (16)$$

Удерживающий момент сил M_y создается весом машины. Опрокидывающий момент M_o определяется нагрузками на рабочем органе экскаватора при резании горного массива, весом транспортируемой горной массы, действием ветровой нагрузки.

Моменты опрокидывания определяются относительно возможного ребра опрокидывания, то есть, определяются прямоугольником a_n, b_n, c_n, d_n (рис. 2).

Для экскаватора коэффициент устойчивости в рабочем и транспортном состоянии принимается $K_y \geq 1,25$.

Значения опрокидывающих и удерживающих моментов определяются в соответствии с силами и плечами, изображенными на графике рис. 2.

На рис. 2 представлены следующие величины:

$ЦТ$ – центр тяжести; G – сила тяжести (вес экскаватора); $\Sigma F_x, \Sigma F_y, \Sigma F_z$ – суммарные силы, действующие вдоль осей X, Y, Z ; ΣF_o – общая результирующая сила от ΣF_x и ΣF_z .

Так как математическая модель не может описать полностью все возможные ситуации работы приводов, ряд входных сигналов формируется вне математической модели и поступает в модули в виде разовых сигналов [3].

К ним относятся:

- отсутствие смазки редукторов;
- отсутствие обдува электродвигателей и выпрямительных мостов;
- выход рабочих органов в аварийную зону;
- недопустимые перегрузки в металлоконструкциях;
- включение тормозов;
- вытяжка канатов;
- опирание стрелы на грунт;
- перегрузка канатов;
- выход стрелы из рабочей зоны.

Литература

1. Беляков, Ю.И. Рабочие органы роторных экскаваторов. / Ю.И. Беляков, В.М. Владимиров // - М.: Машиностроение, 1967. - 179 с.
2. Домбровский, Н.Г. Теория и расчет гусеничного движителя землеройных машин. Н.Г. Домбровский, А.Г. Маевский [и др.] // - К.: Техника, 1970. - 192 с.
3. Милосердов, Е.Е. Моделирование взаимодействия опоры лыж роторного экскаватора с поверхностью грунта / Е.Е. Милосердов // Труды V Евразийского симпозиума «Проблемы прочности материалов и машин для регионов холодного климата». - Якутск, 2010. С. 114-117.

References

1. Belyakov Yu.I. Bucket wheel excavators operating members. / Yu.I. Belyakov, V.M. Vladimirov // M.: Mashinostroeniye, 1967. 179 p.
2. Dombrovsky N.G. Theory and calculation of earth-moving machines caterpillar mover. / N.G. Dombrovsky, A.G. Maevsky i dr. // K.: Tekhnika, 1970. 170 p.
3. Miloserdov E.E. Modeling of the interaction between a rotary excavator skids supports and ground surface // Trudy V Evraziyskogo simpoziuma "Problemy prochnosti materialov i mashin dlya regionov kholodnogo klimata". Yakutsk, 2010. P. 114-117.