

Комиссаров Анатолий Павлович¹, доктор техн. наук, профессор, **Лагунова Юлия Андреевна**^{1, 2}, доктор техн. наук, профессор, **Лукашук Ольга Анатольевна**², канд. техн. наук, доцент, **Шестаков Виктор Степанович**², доктор техн. наук, профессор,

¹Уральский государственный горный университет, 620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

²Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: K.Y.Letnev@urfu.ru

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЭКСКАВАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД КАРЬЕРНЫМ ЭКСКАВАТОРОМ

Аннотация: *Карьерные электромеханические экскаваторы (мехлопаты) характеризуются критическим несоответствием между высоким техническим уровнем конструктивного исполнения и низкой эффективностью управления рабочим процессом экскавации горных пород. Показано, что в процессе экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата карьерного экскаватора образует передающий рычажный механизм, соединяющий главные механизмы с ковшом и преобразующий движения ведомых звеньев механизмов подъема и напора в перемещение ковша (звена «рукоять - ковш»). Установлено, что начальным звеном передаточного механизма, положение и кинематические параметры которого определяют положения и кинематические параметры как звеньев механизмов подъема и напора, так и передаточного механизма, является звено «рукоять – ковш». Разработана кинематическая модель передаточного механизма. Определены взаимозависимости между режимными параметрами (скоростями и усилиями) главных механизмов и параметрами, реализующимися на режущей кромке ковша, в процессе отработки экскаваторного забоя. Выполнен вычислительный эксперимент по определению режимных параметров главных механизмов, обеспечивающих перемещение ковша (вершины режущей кромки) по заданной траектории. Выполнено алгоритмическое описание процесса экскавации. Определены функции управления приводами главных исполнительных механизмов (механизмов напора и подъема), определяющие соотношения между параметрами, характеризующими положение ковша в забое и требуемым уровнем управляющего воздействия. Результаты работы позволят создать адаптивную систему управления рабочим процессом карьерного экскаватора.*

Ключевые слова: карьерные электромеханические экскаваторы, управление рабочим процессом, главные исполнительные механизмы, функции управления приводами.

Информация о статье: принята 12 октября 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-28-33

Введение

Режимы работы двигателей главных исполнительных механизмов (механизмов подъема и напора) карьерных экскаваторов характеризуются большим числом включений, значительной вариацией нагрузок и скоростей рабочих движений. Управление рабочим процессом в этих условиях (большое количество информации о рабочем процессе, дефицит времени) затруднено.

Одним из основных резервов роста производительности карьерных экскаваторов является формирование и поддержание рациональных режимов совместной работы главных исполнительных механизмов (подъема и напора) в процессе копания для конкретных условий эксплуатации, обеспечивающих полную реализацию технических возможностей оборудования и, главным образом, максимальную степень использования установленной мощности силового оборудования.

Анализ систем управления процессом копания [1, 2, 3] показывает, что основным фактором, влияющим на эффективность ведения процесса, является сложность идентификации состояния объекта управления.

Повышение качества и эффективности управления требует объединения систем карьерного экскаватора – механической, электрической, информационной и др. в мехатронный объект с компьютерным управлением.

Сведение многообразных видов связей (кинематических, энергетических и т. д.) в единую теоретическую модель позволит создать адаптивную самоприспосабливающуюся систему управления рабочим процессом для конкретных горнотехнических условий.

Цель и задачи исследования

Цель – повышение эффективности управления рабочим процессом на основе идентификации

Таблица 1. Скорости рабочих движений при перемещении ковша по эквидистантным траекториям ($\psi = 50^\circ$)

| Y_k | Начальная траектория | | | Средняя траектория | | | Конечная траектория | | |
|-------|----------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ |
| 0 | 9 | 0,92 | -0,77 | 13 | 0,82 | -0,53 | 14 | 0,80 | -0,46 |
| 2 | 10,7 | 0,86 | -0,65 | 14,7 | 0,76 | -0,35 | 15,7 | 0,73 | -0,28 |
| 4 | 12,4 | 0,76 | -0,46 | 16,4 | 0,68 | -0,13 | 17,4 | 0,66 | -0,06 |
| 6 | 14,1 | 0,65 | -0,17 | 18,1 | 0,61 | 0,11 | 19,1 | 0,59 | 0,16 |
| 8 | 15,8 | 0,60 | 0,17 | 19,8 | 0,55 | 0,34 | 20,8 | 0,51 | 0,36 |
| 10 | 17,5 | 0,63 | 0,45 | 21,5 | 0,45 | 0,51 | 22,5 | 0,38 | 0,52 |
| 12 | 19,2 | 0,64 | 0,64 | 23,2 | 0,26 | 0,64 | 24,2* | 0,17 | 0,64 |
| 14 | 20,9 | 0,49 | 0,76 | 24,9* | -0,01 | 0,73 | | | |
| 16 | 22,6 | 0,09 | 0,83 | | | | | | |
| 18 | 24,3* | -0,36 | 0,88 | | | | | | |

* Не реализуется (точка K находится за пределами рабочей зоны).

Таблица 2. Скорости рабочих движений при перемещении ковша по эквидистантным траекториям ($\psi = 60^\circ$)

| Y_k | Начальная траектория | | | Средняя траектория | | | Конечная траектория | | |
|-------|----------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ |
| 0 | 9 | 0,95 | -0,87 | 13 | 0,89 | -0,67 | 17 | 0,81 | -0,44 |
| 2 | 10,15 | 0,91 | -0,81 | 14,15 | 0,84 | -0,54 | 18,15 | 0,76 | -0,30 |
| 4 | 11,3 | 0,84 | -0,70 | 15,3 | 0,77 | -0,37 | 19,3 | 0,70 | -0,14 |
| 6 | 12,45 | 0,70 | -0,51 | 16,45 | 0,70 | -0,16 | 20,45 | 0,64 | 0,04 |
| 8 | 13,6 | 0,52 | -0,19 | 17,6 | 0,66 | 0,09 | 21,6 | 0,58 | 0,21 |
| 10 | 14,75 | 0,50 | 0,19 | 18,75 | 0,66 | 0,32 | 22,75 | 0,49 | 0,37 |
| 12 | 15,9 | 0,66 | 0,50 | 19,9 | 0,65 | 0,50 | 23,9 | 0,34 | 0,50 |
| 14 | 17,05 | 0,80 | 0,70 | 21,05 | 0,57 | 0,64 | 25,05* | 0,13 | 0,60 |
| 16 | 18,2 | 0,89 | 0,81 | 22,2 | 0,30 | 0,73 | | | |
| 18 | 19,35 | 0,93 | 0,87 | 23,35* | -0,13 | 0,80 | | | |

* Не реализуется (точка K находится за пределами рабочей зоны).

Таблица 3. Скорости рабочих движений при перемещении ковша по эквидистантным траекториям ($\psi = 70^\circ$)

| Y_k | Начальная траектория | | | Средняя траектория | | | Конечная траектория | | |
|-------|----------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ | X_k | $V_{п}$ | $V_{н}$ |
| 0 | 12 | 0,93 | -0,83 | 13 | 0,92 | -0,79 | 17 | 0,87 | -0,59 |
| 2 | 12,75 | 0,89 | -0,76 | 13,75 | 0,88 | -0,70 | 17,75 | 0,84 | -0,48 |
| 4 | 13,5 | 0,82 | -0,65 | 14,5 | 0,81 | -0,58 | 18,5 | 0,79 | -0,35 |
| 6 | 14,25 | 0,71 | -0,48 | 15,25 | 0,72 | -0,41 | 19,25 | 0,74 | -0,18 |
| 8 | 15 | 0,59 | -0,24 | 16 | 0,64 | -0,17 | 20 | 0,71 | 0,0 |
| 10 | 15,75 | 0,55 | 0,06 | 16,75 | 0,62 | 0,10 | 20,75 | 0,67 | 0,18 |
| 12 | 16,5 | 0,63 | 0,34 | 17,5 | 0,68 | 0,34 | 21,5 | 0,63 | 0,34 |
| 14 | 17,25 | 0,74 | 0,56 | 18,25 | 0,76 | 0,53 | 22,25 | 0,53 | 0,48 |
| 16 | 18 | 0,82 | 0,70 | 19 | 0,83 | 0,67 | 23 | 0,32 | 0,59 |
| 18 | 18,75 | 0,65 | 0,79 | 19,75 | 0,86 | 0,76 | 23,75* | -0,01 | 0,67 |

* Не реализуется (точка K находится за пределами рабочей зоны).

режимов функционирования исполнительных механизмов.

Задачи, решаемые в данной работе:

- анализ степени трансформации рычажным механизмом рабочего оборудования режимных параметров главных исполнительных механизмов (скоростей и усилий подъема и напора) в энергосиловые параметры, реализуемые на ковше, в процессе экскавации;

- установление взаимосвязей между режимными параметрами главных механизмов и параметрами процесса экскавации (траекторией перемещения ковша, скоростью копания, углом резания и др.);

- определение функций управления главными механизмами при реализации заданной траектории перемещения ковша.

Решение задач исследования

Основой для разработки системы управления приводами главных механизмов карьерного экскаватора является имитационная модель процесса экскавации как объекта управления [4, 5].

В качестве метода исследований принят вычислительный эксперимент. Для алгоритмических моделей экспериментирование с помощью модели тождественно нахождению значений выходных характеристик при заданных значениях входных переменных и постоянных аргументов при различных режимах рабочего процесса. Перебор вариантов решений производится с заданным шагом варьирования. В ходе просчета и калибровки математической модели накапливается информация о функциональных возможностях объекта управления. Результаты

имитационного моделирования представляют собой набор расчетных данных, характеризующих исследуемый процесс.

Режимы работы двигателей главных рабочих механизмов (механизмов подъема и напора) карьерных экскаваторов существенно зависят от горнотехнических условий разработок и, главным образом, физико-механических свойств горных пород [6].

Управление рабочим процессом экскавации заключается в реализации скоростей рабочих движений (скоростей подъема и напора), обеспечивающих заданные траектории движения ковша (вершины режущей кромки) – эквидистант (кривых, удаленных на одинаковом расстоянии, равном толщине слоя срезаемого слоя породы) для связных и взорванных полускальных и скальных пород, и ломаных (с перегибами) кривых при некачественной подготовке горной массы (наличие негабаритов и крупных кусков с размерами 0,5-1,0 м).

Принята в качестве основной рабочей операции карьерного экскаватора – послынная выемка горных пород при перемещении ковша (вершины режущей кромки) по эквидистантным траекториям, параллельным откосу уступа.

В работе на основе математической модели рабочего процесса карьерного экскаватора выполнен вычислительный эксперимент по расчету скоростей рабочих движений главных механизмов при перемещении ковша в пределах рабочей зоны экскаватора.

В качестве объекта вычислительного эксперимента принят экскаватор ЭКГ-20 (ЭКГ-20А) производства ПАО «Уралмашзавод».

Значения исходных данных для расчета режимных параметров главных механизмов составляют:

- углы наклона траекторий перемещения ковша (вершины режущей кромки – точки K) приняты $\psi = 50, 60$ и 70 градусов, что соответствует фактическим значениям углов откоса забоя (уступа);

- скорость копания $V_k = 1$ м/с;

- максимальный радиус копания $R_{k \max} = 24$ м; максимальная высота копания $H_{k \max} = 18$ м.

В табл. 1 – 3 приведены расчетные значения скоростей рабочих движений при перемещении ковша по эквидистантным траекториям (начальной, средней и конечной) с различными углами наклона.

Как следует из приведенных данных, скорости подъема и напора изменяются в зависимости как от высоты копания, так и от радиуса копания, т. е. траектории перемещения ковша – начальной, средней и конечной.

В целом, вариация значений режимных параметров главных механизмов в процессе экскавации обусловливается как изменением расстояний (линейных и угловых) между звеньями механизма рабочего оборудования, так и направлениями векторов скоростей подъема, напора и копания.

На основе кинематического анализа двухкривошипно-рычажного механизма рабочего оборудования карьерного экскаватора получены аналитические выражения для определения соотношений между параметрами, характеризующими положение ковша в забое, и требуемым уровнем управляющего воздействия (скорости подъема и напора,

обеспечивающими перемещение ковша по заданной траектории) – функций управления приводами механизмов подъема ФУП и напора ФУН.

Выражения для определения функций управления имеют вид:

$$\text{ФУН} = \frac{V_k \cos(\psi - \phi_1)}{\sin(\alpha - \phi_1)};$$

$$V_{C1} = \frac{V_k O_1 C \cos(\psi - \alpha)}{O_1 K \sin(\alpha - \phi_1)};$$

ФУП = ФУП₁ при перемещении ковша в нижней части забоя ($\phi_1 + 0,5\pi < \psi$).

ФУП = ФУП₂ при перемещении ковша в верхней части забоя ($\phi_1 + 0,5\pi \geq \psi$).

$$\text{ФУП}_1 = V_C \sin(\phi_2 + \delta + \varepsilon - \gamma);$$

$$V_C = (V_n^2 + V_{C1}^2 + 2|V_n|V_{C1} \cos(\alpha - \phi_2))^{0,5};$$

$$\varepsilon = \arcsin\left(\frac{|V_n| \sin(\alpha - \phi_2)}{V_C}\right);$$

$$\text{ФУП}_2 = V_C \sin(\phi_2 + \delta - \varepsilon - \gamma);$$

$$V_C = (V_n^2 + V_{C1}^2 - 2V_n V_{C1} \cos(\alpha - \phi_2))^{0,5};$$

$$\varepsilon = \arcsin\left(\frac{V_n \sin(\alpha - \phi_2)}{V_C}\right);$$

$$\text{где } \phi_1 = \arctg \frac{Y_k - Y_{01}}{X_C - X_{01}};$$

$$\alpha = \phi_1 + \alpha_0;$$

$$\alpha_0 = \arctg \frac{AK}{O_1 A};$$

$$AK = (O_1 K^2 - O_1 A^2)^{0,5};$$

$$AC = AK - CK;$$

$$O_1 K = ((X_k - X_{01})^2 + (Y_k - Y_{01})^2)^{0,5};$$

$$X_C = X_{01} + O_1 A \cos \alpha + AC \sin \alpha;$$

$$Y_C = Y_{01} + O_1 A \sin \alpha - AC \cos \alpha;$$

$$\phi_2 = \arctg \frac{Y_C - Y_{01}}{X_C - X_{01}};$$

$$\gamma = \arctg \frac{Y_C - Y_{02}}{X_C - X_{02}};$$

$$l_n = ((X_C - X_{02})^2 + (Y_C - Y_{02})^2 - R^2)^{0,5};$$

$$\delta = \arctg \frac{R}{l_n};$$

$X_{01}, Y_{01}, X_{02}, Y_{02}$ – координаты оси напорного вала O_1 и оси головного блока O_2 (рис. 1); $O_1 A, CK, R (O_2 D)$ – размеры элементов рабочего оборудования.

Расчетные значения режимных параметров главных механизмов могут быть представлены в виде графиков скоростей рабочих движений (рис. 2).

Полученные аналитические зависимости позволяют определить по специальной программе для ЭВМ требуемые значения функций управления (скоростей подъема и напора) для реализации заданной траектории перемещения ковша.

Заключение

Использование предложенных функций управления в системе управления двигателями исполнительных механизмов позволит повысить эффективность функционирования карьерного экскаватора в конкретных горнотехнических условиях разработки.

Предложенная методика расчета режимных параметров (скоростей подъема и напора) главных механизмов карьерных экскаваторов посредством вычислительного эксперимента позволяет определить фактические значения скоростей рабочих движений в конкретных горнотехнических условиях работы

(размеры забоя, вид траекторий перемещения ковша и др.).

Установление взаимосвязей между режимными параметрами главных механизмов в процессе экскавации грунта может служить основой для разработки адаптивной системы управления

рабочим процессом, обеспечивающей за счет согласования скоростей рабочих движений в конкретных условиях эксплуатации повышение эффективности функционирования экскаватора.

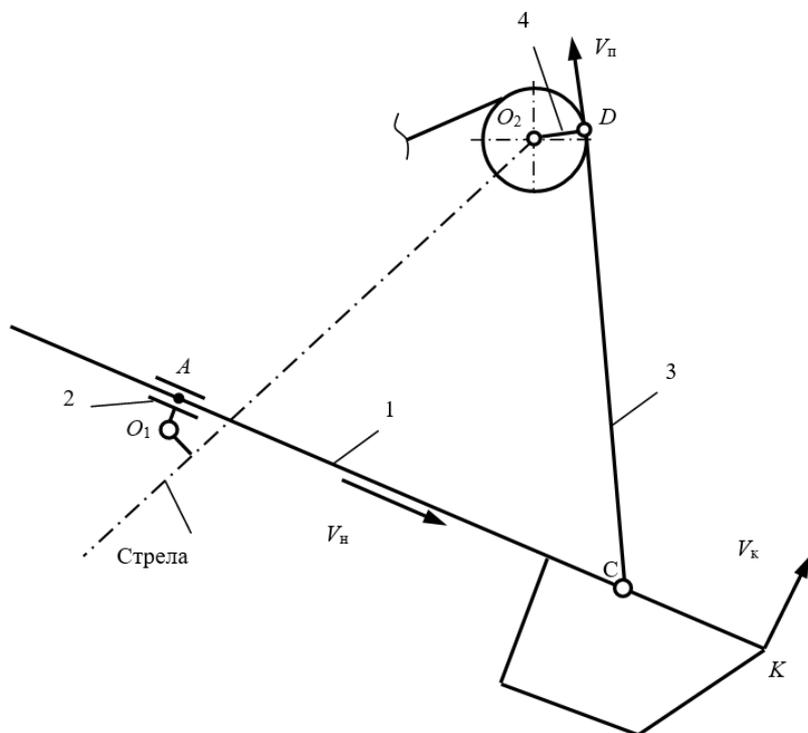


Рис. 1. Схема механизма рабочего оборудования:
1 – звено «рукоять-ковш»; 2 – седловый подшипник; 3 – подъемный канат; 4 – головной блок
 V_n, V_p, V_k – скорости напора, подъема и копания

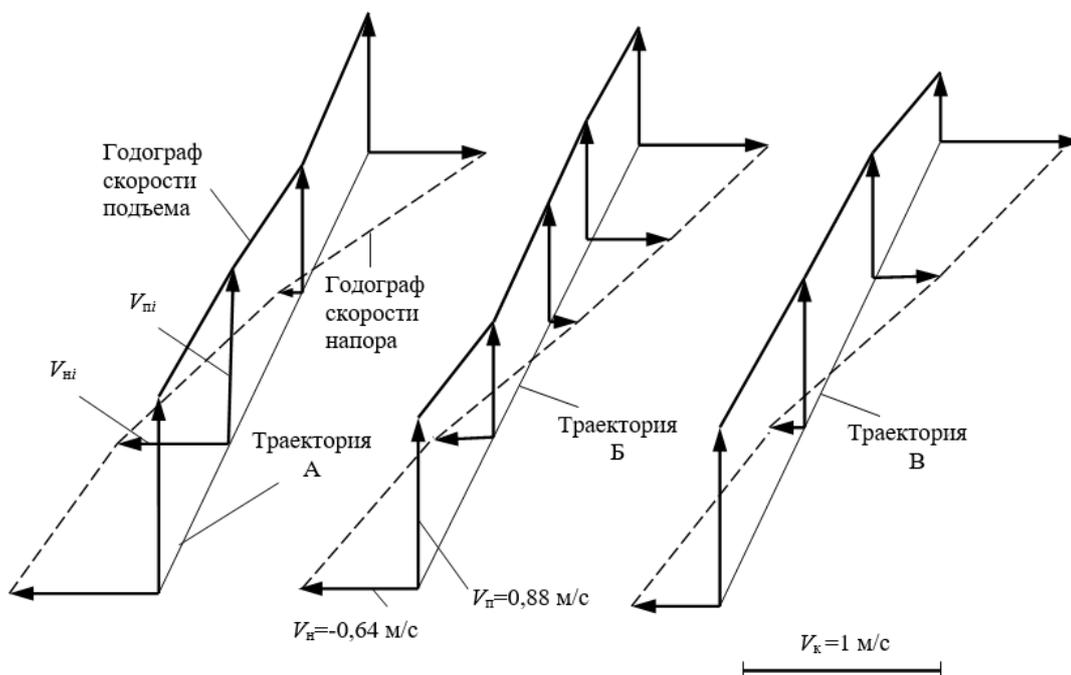


Рис. 2. Годографы скоростей рабочих движений при перемещении ковша до расчетной высоты копания:
 V_n, V_p – скорости подъема и напора;
А, Б, В – траектории движения ковша по границам рабочей зоны (А и В) и в центре зоны (Б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Певзнер Л. Д. Автоматизированное управление мощными одноковшовыми экскаваторами. М.: Горное дело, 2014.
2. Бабаков С. Е., Певзнер Л. Д. Алгоритмизация управления движением ковша экскаватора в режиме черпания с применением нечеткой логики // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 9. С. 8 – 17.
3. Певзнер Л. Д., Бабаков С. Е. Управление операцией черпания карьерного экскаватора-мехлопаты с применением нечеткой логики // Уголь. 2012. № 8. С. 64 – 65.
4. Комиссаров А. П., Летнев К. Ю., Лукашук О. А. Анализ двухкривошипно-рычажных механизмов рабочего оборудования карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XV Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 20-21 апр., 2017 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 41 – 46.
5. Гафурьянов Р. Г., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. Моделирование рабочего процесса карьерных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 6. С. 40 – 45.
6. Беляков Ю. И. Экскаваторные работы. М.: Недра, 1992. 288 с.
7. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: учеб. для вузов. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Майнинг Медиа Групп, 2013. 593 с.
8. Савченко А. Я. Совершенствование методологии оценки качества высокопроизводительного

экскавационного оборудования большой единичной мощности на этапе эксплуатации // Горные машины и автоматика. 2001. № 1. С. 4 – 6.

9. Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. и др. Горные машины. Энциклопедия. Т. IV-24. М.: Машиностроение, 2011. 493 с.

10. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1979. 576 с.

11. Лукашук О. А., Летнев К. Ю., Комиссаров А. П. Определение режимов работы двигателей главных механизмов одноковшового экскаватора // Изв. вузов. Горный журнал. № 5. 2017. С. 52-58.

12. Малафеев С. И., Тихонов Ю. В. Компоненты интеллектуального управления для карьерных экскаваторов // Автоматизация в промышленности. 2013. № 10. С. 33 – 37.

13. Малафеев С. И. Интеллектуализация карьерного экскаватора / С. И. Малафеев, Ю. В. Тихонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 11. С. 107 – 115.

14. Bender F. A., Sawodny O. A. Predictive Driver Model for the Virtual Excavator // The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2014, pp. 187 – 192.

15. Lee B., Kim H. J. Trajectory Generation for an Automated Excavator // Proceedings of the 14 International Conference on Control, Automation and Systems (Iccas/14). Seoul, 2014. P. 716 – 719.

16. Sanat A. Talmaki Real-Time Visualization for Prevention of Excavation Related Utility Strikes. PhD Diss. University of Michigan, Michigan, USA, 2012. 336 p.

Komissarov Anatoly Pavlovich^{1, 2}, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Lagunova Yuliya Andreevna**^{1, 2}, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Lukashuk Olga Anatol'evna**², C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Shestakov Viktor Stepanovich**¹, Dr. Sc. in Engineering, Professor

¹Ural state mining University, Yekaterinburg, Russia

²Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

SOFTWARE MANAGEMENT OF THE ROCK EXCAVATION PROCESS BY A QUARRY EXCAVATOR

Abstract: Mining electromechanical excavators (shovels) are characterized by a critical discrepancy between a high technical level of design and low efficiency of rock excavation workflow control. It is shown that in the process of excavation of rocks by the working equipment of a straight-line shovel of a mining excavator, a transmission linkage is formed that connects the main mechanisms with the bucket and converts the movements of the driven links of the lifting and pressure mechanisms into the movement of the bucket (link "handle - bucket"). It has been established that the initial link of the transmission mechanism, the position and kinematic parameters of which determine the positions and kinematic parameters of both the links of the lifting and pressure mechanisms, and the transmission mechanism, is the link "handle - bucket". A kinematic model of the transmission mechanism has been developed. The interdependencies between the operating parameters (speeds and forces) of the main mechanisms and the parameters realized at the cutting edge of the bucket in the process of working out the excavator face have been determined. A computational experiment was performed to determine the operating parameters of the main mechanisms that ensure the movement of the bucket (the top of the cutting edge) along a given trajectory. An algorithmic description of the excavation process has been carried out. The functions of controlling the drives of the main actuating mechanisms (pressure and lifting mechanisms) are determined, which determine the relationship between the parameters characterizing the position of the bucket in the bottom hole

and the required level of control action. The results of the work will make it possible to create an adaptive system for managing the working process of a mining excavator.

Keywords: mining Electromechanical shovels, workflow management, the main Executive mechanisms of the control function actuators.

Article info: received October 12, 2020
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-28-33

REFERENCES

1. Pevzner L. D. Avtomatizirovannoe upravlenie moshchnymi odnokovshovymi ekskavatorami. M.: Gor-noe delo, 2014.
2. Babakov S. E., Pevzner L. D. Algoritmizatsiya upravleniya dvizheniem kovsha ekskavatora v rezhime cherpaniya s primeneniem nechetkoj logiki // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2012. № 9. S. 8 – 17.
3. Pevzner L. D., Babakov S. E. Upravlenie operatsiej cherpaniya kar'ernogo ekskavatora-mekhlopaty s primeneniem nechetkoj logiki // Ugol'. 2012. № 8. S. 64 – 65.
4. Komissarov A. P., Letnev K. Yu., Lukashuk O. A. Analiz dvuhkrivoshipno-rychaznyh mekhanizmov ra-bochego oborudovaniya kar'ernyh ekskavatorov // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sb. trudov XV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Chteniya pamyati V. R. Kubacheka», 20-21 apr., 2017 g., g. Ekaterinburg. Ekaterinburg: UGGU, 2017. S. 41 – 46.
5. Gafur'yanov R. G., Komissarov A. P., Shestakov V. S. Modelirovanie rabocheho processa kar'ernyh ekskavatorov // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2009. № 6. S. 40 – 45.
6. Belyakov Yu. I. Ekskavatornye raboty. M.: Nedra, 1992. 288 s.
7. Poderni R. Yu. Mekhanicheskoe oborudovanie kar'erov: ucheb. dlya vuzov. 8-e izd., pererab. i dop. M.: Izd-vo Majning Media Grupp, 2013. 593 s.
8. Savchenko A. Ya. Sovershenstvovanie metodologii ocenki kachestva vysokoproizvoditel'nogo

ekska-vacionnogo oborudovaniya bol'shoj edinichnoj moshchnosti na etape ekspluatscii // Gornye mashiny i avtomati-ka. 2001. № 1. S. 4 – 6.

9. Lagunova Yu. A., Komissarov A. P., Shestakov V. S. i dr. Gornye mashiny. Enciklopediya. T. IV-24. M.: Mashinostroenie, 2011. 493 s.

10. Levitskij N. I. Teoriya mekhanizmov i mashin. M.: Nauka, 1979. 576 s.

11. Lukashuk O. A., Letnev K. Yu., Komissarov A. P. Opredelenie rezhimov raboty dvigatelej glavnyh mekhanizmov odnokovshovogo ekskavatora // Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. № 5. 2017. S. 52-58.

12. Malafeev S. I., Tihonov Yu. V. Komponenty intellektual'nogo upravleniya dlya kar'ernyh ekskavatorov // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. 2013. № 10. S. 33 – 37.

13. Malafeev S. I. Intellektualizatsiya kar'ernogo ekskavatora / S. I. Malafeev, Yu. V. Tihonov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2015. № 11. S. 107 – 115.

14. Bender F. A., Sawodny O. A. Predictive Driver Model for the Virtual Excavator // The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2014, pp. 187 – 192.

15. Lee B., Kim H. J. Trajectory Generation for an Automated Excavator // Proceedings of the 14 International Conference on Control, Automation and Systems (Iccas/14). Seoul, 2014. P. 716 – 719.

16. Sanat A. Talmaki Real-Time Visualization for Prevention of Excavation Related Utility Strikes. RhD Diss. University of Michigan, Michigan, USA, 2012. 336 p.

Библиографическое описание статьи

Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Лукашук О.А., Шестаков В.С. Программное управление процессом экскавации горных пород карьерным экскаватором // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 5 (151). – С. 28-33.

Reference to article

Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Lukashuk O.A., Shestakov V.S. Software management of the rock excavation process by a quarry excavator. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.5 (151), pp. 28-33.