

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА В ПРОЦЕССЕ ЭКСКАВАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

**Аннотация:** Показано, что в процессе экскавации горных пород рабочим оборудованием типа прямая лопата карьерного экскаватора режимные параметры главных механизмов (подъемного и напорного) формируются в зависимости от кинематических свойств передаточного механизма, соединяющего главные механизмы с ковшом. На основе разработанной имитационной модели процесса экскавации выполнен вычислительный эксперимент и определены области изменений режимных параметров главных механизмов при перемещении ковша по заданным траекториям. Установлено, что скорости рабочих движений зависят от положения ковша в забое. Показано, что при увеличении высоты и радиуса копания скорость подъема уменьшается, а скорость напора возрастает. Результаты работы могут быть использованы при создании адаптивной системы цифрового управления процессом экскавации, учитывающей кинематические свойства передаточного механизма.

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор; режимные параметры главных механизмов; передаточный механизм; имитационная модель процесса экскавации.

**Информация о статье:** принята 01 августа 2019 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-14-17

### Введение

Основным фактором, сдерживающим развитие производительных сил, является ограниченность физио- и психологических возможностей оператора эффективно управлять современным технологическим оборудованием.

Выходом из данной ситуации является автоматизация и роботизация производства.

В настоящее время остается нерешенной задача создания автоматизированной системы управления приводами главных исполнительных механизмов карьерных экскаваторов при их совместной работе в процессе экскавации горных пород ввиду сложности координации рабочих движений и согласования скоростей подъема и напора.

Повышение качества и эффективности управления возможно на основе формализации рабочего процесса экскавации и установления зависимостей между энергосиловыми параметрами, реализуемыми на режущей кромке ковша, и режимными параметрами главных механизмов с учетом горнотехнических условий разработки и параметров экскаваторного забоя.

### Цель и задачи работы

**Цель работы** – повышение эффективности управления процессом экскавации горных пород на основе идентификации режимов функционирования главных механизмов.

**Задачи, решаемые в данной работе:**

- разработка имитационной модели процесса экскавации горных пород;

- расчет режимных параметров главных механизмов для конкретной схемы отработки экскаваторного забоя;

- установление взаимосвязей между режимными параметрами главных механизмов и параметрами процесса экскавации.

### Решение задач исследования

Объектом исследования является процесс экскавации горной породы, заключающийся в перемещении ковша (вершины режущей кромки) по траектории, параллельной откосу уступа (развала породы) с одновременным отделением (срезанием) слоя (стружки) горной массы и его заполнением.

Предмет исследования заключается в выявлении взаимосвязей между режимными параметрами главных механизмов и энергосиловыми параметрами, реализуемыми на режущей кромке ковша, с учетом конкретных условий эксплуатации.

Методы исследования – имитационное моделирование, вычислительный эксперимент.

Особенность процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием типа прямая лопата при совместном действии главных механизмов (подъемного и напорного) заключается в образовании передаточного механизма, соединяющего главные механизмы с ковшом [1].

Передаточный механизм (рис. 1) состоит из выходных звеньев главных механизмов (головного блока стрелы, подъемного каната, кремальерной шестерни и седлового подшипника) и элементов рабочего оборудования.

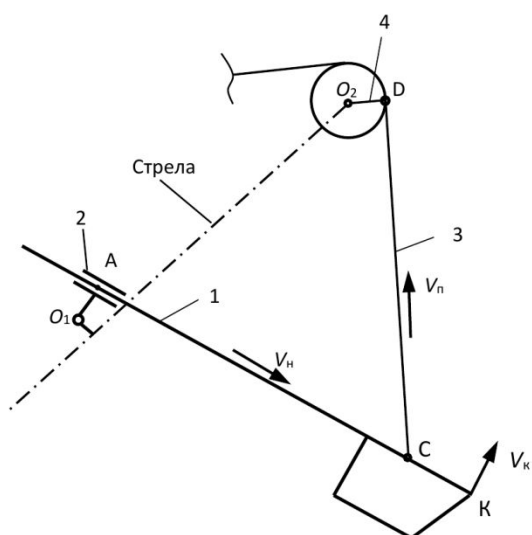


Рис. 1. Схема передаточного механизма:  
1 – звено «рукоять-ковш»; 2 – кремальерная шестерня и седловой подшипник; 3 – подъемный канат; 4 – головной блок;  $V_k$ ,  $V_n$ ,  $V_p$  – скорости напора, подъема и копания

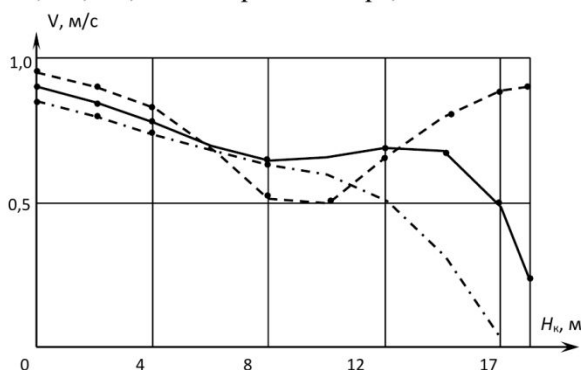


Рис. 2. График зависимости скорости подъема от высоты копания:

----- - начальная траектория;  
— - средняя траектория;  
- · - конечная траектория

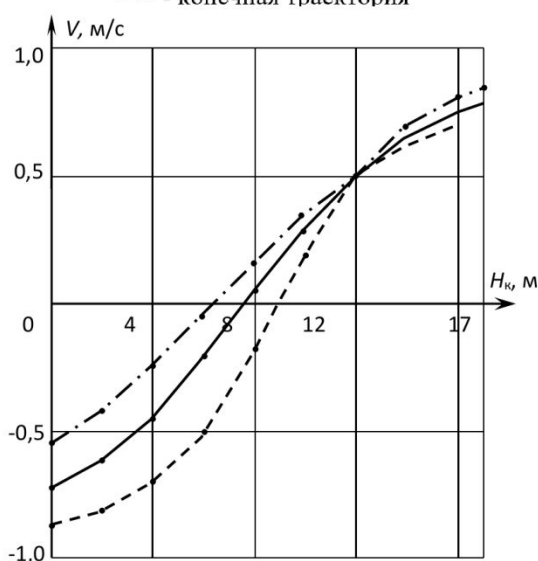


Рис. 3. График зависимости скорости напора от высоты копания:

----- - начальная траектория;  
— - средняя траектория;  
- · - конечная траектория

Число степеней свободы механизма (число обобщенных независимых координат, определяющих положения всех звеньев механизма) составит

$$S = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2$$

где  $n = 3$  – число подвижных звеньев;  $P_5 = 3$  – число кинематических пар пятого класса (одно-подвижных);  $P_4 = 1$  – число кинематических пар четвертого класса (двухподвижных – вращательное и поступательное движения).

В механизме с двумя обобщенными координатами в качестве обобщенных координат могут быть приняты координаты двух звеньев или одного звена, если оно образует со стойкой двухподвижную пару [2]. Так как координаты кривошипов (кремальерной шестерни и головного блока) взаимозависимы ввиду наличия кинематической связи между ними, то в качестве обобщенных координат следует принять координаты звена «рукоять-ковш», образующего со стойкой двухподвижную пару (поступательную и вращательную).

Следовательно, положения звеньев передаточного механизма и звеньев главных механизмов (подъемного и напорного) определяются положением начального звена (звена «рукоять-ковш») передаточного механизма, т. е. при экскавации горных пород рабочим оборудованием типа прямая лопата происходит «обратимость» главных механизмов [3].

В этом случае режимные параметры главных механизмов (скорости подъема и напора) определяются в зависимости от кинематических свойств передаточного механизма, которые характеризуются кинематическими передаточными функциями [4].

Разработана имитационная модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием типа прямая лопата, определяющая значения режимных параметров главных механизмов, обеспечивающих реализацию заданных траекторий перемещения ковша в соответствии со схемой отработки экскаваторного забоя [5].

Проведен вычислительный эксперимент по расчету режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора ЭКГ-20А производства ПАО «Уралмашзавод» при отработке забоя. Исходные данные для расчета:

- координаты звена «рукоять-ковш», а именно координаты точки К (вершины режущей кромки ковша) -  $X_k$  и  $Y_k$ ;
- скорость копания  $V_k = 1$  м;
- угол наклона касательной к траектории перемещения ковша  $\psi = 60^\circ$ ;
- радиусы копания на уровне стояния экскаватора для начальной, средней и конечной траекторий составляют  $R_{k.ус} = 9, 12$  и  $15$  м;
- максимальная высота копания  $H_{k.мах} = 17$  м.

На рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов в виде графиков скоростей подъема и напора в процессе отработки экскаваторного забоя по

начальной, средней и конечной траекториям перемещения ковша.

Как видно из графиков, скорости рабочих движений зависят от положения ковша в забое. Так, при увеличении высоты и радиуса копания скорость подъема уменьшается (кроме начальной траектории), а скорость напора возрастает.

Существенно разнятся темпы изменения скоростей рабочих движений. Так, при копании по средней траектории перемещения ковша диапазон изменения скорости подъема составляет  $D_n = 0,95 \div 0,25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ , а скорости напора –  $D_n = -0,72 \div 0,78 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Таким образом, режимные параметры главных механизмов карьерного экскаватора с рабочим оборудованием типа прямая лопата определяются в зависимости от кинематических свойств передаточного механизма, соединяющего главные механизмы с ковшом.

### Заключение

Повышение качества управления рабочим процессом экскавации горных пород и в целом эффективности функционирования карьерного экскаватора обеспечивается при адаптивной системе цифрового управления процессом экскавации, учитывающей кинематические свойства передаточного механизма, соединяющего главные механизмы с ковшом, а также взаимосвязи режимных параметров главных механизмов с технологическими параметрами схемы отработки экскаваторного забоя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гафурьянов Р.Г., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Моделирование рабочего процесса карьерных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 6. С. 40-45.
2. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука. 1979. 576.
3. Комиссаров А.П., Плотников Н.С., Летнев К.Ю., Лукашук О.А. «Обратимость» главных механизмов карьерного экскаватора при экскавации горных пород // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XVI Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», 12-13 апреля 2018 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2018. С. 48-50.
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 апреля 2017 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 41-46.
5. Комиссаров А.П., Лукашук О.А. Методика определения режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XVII Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», 04-05 апреля 2019 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2019. С. 73-76.

O.A. Lukashuk, C. Sc. in Engineering

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
620002, Russia, Yekaterinburg, ul. Mira, 19

## REGULARITIES OF FORMING THE STANDARD PARAMETERS OF MAIN MECHANISMS OF OPEN-PIT EXCAVATOR IN THE PROCESS OF ROCK EXCAVATION

**Abstract:** It is shown that in the process of excavating rocks with the front shovel type implement of the open-pit excavator, the standard parameters of the main mechanisms (hoist and crowd) are formed depending on the kinematic properties of the transmission mechanism connecting the main mechanisms to the bucket. Based on the developed simulation model of the excavation process, a computational experiment was carried out and the areas of changes in the standard parameters of the main mechanisms when moving the bucket along predetermined paths were determined. It is established that the speed of working movements depends on the position of the bucket in the face. It is shown that with an increase in the height and radius of digging, the hoist speed decreases, and the crowd speed increases. The results of the work can be used to create an adaptive system of digital control of the excavation process, taking into account the kinematic properties of the transmission mechanism.

**Keywords:** mining excavator; standard parameters of the main mechanisms; gear mechanism; simulation model of the excavation process.

**Article info:** received August 01, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-14-17

#### REFERENCES

1. Gafur'yanov R.G., Komissarov A.P., SHeStakov V.S. Modelirovanie rabocheho processa kar'ernyh ekskavatorov // Gornoe oborudovanie i elektro-mekhanika. 2009. № 6. S. 40-45.
2. Levitskij N.I. Teoriya mekhanizmov i mashin. M.: Nauka. 1979. 576.
3. Komissarov A.P., Plotnikov N.S., Letnev K.YU., Lukashuk O.A. «Ob-ratimost'» glavnyh mekhanizmov kar'ernogo ekskavatora pri ekskavacii gor-nyh porod // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sb. trudov XVI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «CHteniya pamyati V. R. Kubacheka», 12-13 aprelya 2018 g., g. Ekaterinburg. Ekaterinburg: UGGU, 2018. S. 48-50.
4. Komissarov A.P., Letnev K.YU., Lukashuk O.A. Analiz dvuhkrivo-shipno-rychaznyh mekhanizmov

rabocheho 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 aprelya 2017 g., g. Ekaterinburg. Ekaterinburg: UGGU, 2017. S. 41-46.

5. Komissarov A.P., Lukashuk O.A. Metodika opredeleniya rezhimnyh parametrov glavnyh mekhanizmov kar'ernogo ekskavatora // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sb. trudov XVII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «CHteniya pamyati V.R. Kubacheka», 04-05 aprelya 2019 g., g. Ekaterinburg. Ekaterinburg: UGGU, 2019. S. 73-76..

#### Библиографическое описание статьи

Лукашук О.А. Закономерности формирования режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора в процессе экскавации горных пород // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 3 (143). – С. 14-17.

#### Reference to article

Lukashuk O.A. Regularities of forming the standard parameters of main mechanisms of open-pit excavator in the process of rock excavation. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 3 (143), pp. 14-17.