

О полноте процессно-прецизионных показателей функционирования горной техники

Т.А. Ткачева,
доц., к.т.н., tkacheva3@mail.ru,
Московский политех, г. Москва

В данной статье рассмотрены некоторые вопросы цифрового проектирования, а именно процессно-прецизионных показателей функционирования горной техники. Оно обеспечивает полноту, а значит и повышенную достоверность и точность (процессность и прецизионность) информации (информационных технологий), необходимых для всей системы исследований процессов создания и эксплуатации Г Т. Предложены точно нормируемые иерархические модели коэффициента готовности (Кг Г Т) Г Т, детально отражающие иерархическую структуру конструкций Г Т.

In this article some questions of digital design, namely process and precision indicators of functioning of the mountain equipment are considered. It provides completeness, so and the increased reliability and accuracy (a processness and a precisionness) of information (information technologies) necessary for all system of researches of processes of creation and G T operation. Precisely normalized hierarchical models of availability quotient (G T Kg) of G T which are in details reflecting hierarchical structure of designs of G T are offered.

Введение

Известна важная роль много аспектного показателя производительности в экономике каждого горнодобывающего предприятия.

Горная техника, и в частности, погрузочно-разгрузочные комплексы, включающие «экскаватор и автотранспортное средство (АТС)», играют ключевую роль в формировании показателя – производительности (рис. 1).

Итак, рассмотрим пример оценки производительности показателей и параметров для экскаваторов, работающих на карьерах и разрезах. В многочисленной научно-технической литературе обычно зафиксированы: теоретическая, техническая и эксплуатационная производительность экскаваторов.

Теоретическая производительность экскаваторов определяется как:

$$Птэ = 3600 \frac{V_k}{t_{ц}}, \quad (1)$$

где V_k – объём ковша экскаватора; $t_{ц}$ – время цикла экскаватора.

Техническая производительность экскаваторов включает:

$$Птхэ = 3600 \frac{V_k}{t_{ц}} \cdot K_n \cdot 1/K_p \cdot (\tau_p / (\tau_p + \tau_n)), \quad (2)$$

где K_n – коэффициент наполнения ковша; K_p – коэффициент разрыхления экскавируемой горной породы; τ_p – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места установки; τ_n – длительность одной передвижки экскаватора.

А эксплуатационная производительность экскаваторов дополняется данными по $K_{вэ}$ – коэффициенту использования экскаватора во времени, т.е. имеем:

$$Пээ = 3600 \frac{V_k}{t_{ц}} \cdot K_n \cdot 1/K_p \cdot (\tau_p / (\tau_p + \tau_n)) \cdot K_{вэ}. \quad (3)$$

Заметим, что исторически сложилась некоторая противоречивая ситуация. Во-первых, в моделях производительности (1-3) V_k различны, а, именно, V_{kT} – теоретический объём ковша, V_{kTx} – технический и $V_{kЭ}$ – эксплуатационный, что влияет на оценку производительности экскаватора. Во-вторых, в моделях (2-3) должны быть представлены другие коэффициенты, так как к технической производительности коэффициенты K_p и K_n не имеют отношения. Параметры K_n , K_p , τ_p и τ_n являются технологическими (зависят от особенностей технологии и месторождений полезных ископаемых (МПИ)).

Итак, теоретическая производительность (модель 1) фиксирует конструктивные особенности экскаватора, т.е. представляет решения изобретателей, авторов проекта экскаватора.

Техническая производительность отражает все особенности изготовления экскаватора, в ней формируются возможности, определяемые качеством изготовления (так в 2018 году на УРАЛМАШе изготовлен отечественный экскаватор, который на 95% укомплектован российскими деталями, устройствами и т.д.).

Техническая производительность таким образом может быть определена как:

$$Птхэ = 3600 \frac{V_{kTx}}{t_{ц}} \cdot K_{Txэ}, \quad (4)$$

где $K_{Txэ}$ – особенности завода изготовителя экскаватора.

Это достаточно сложный коэффициент, т.к. он отражает специфику многих поставляемых комплектующих, уровень оснащённости предприятия соответствующим оборудованием и квалификацией персонала.

А вот далее должен быть введен новый технологический показатель – это технологическая производительность:

$$P_{\text{техЭ}} = 3600 \frac{V_{\text{ктех}}}{t_{\text{ц}}} \cdot K_{\text{тхЭ}} \cdot K_{\text{н}} \cdot 1/K_{\text{р}} \cdot (\tau_{\text{р}}/(\tau_{\text{р}}+\tau_{\text{п}})), \quad (5)$$

а затем должна быть скорректирована и эксплуатационная производительность экскаватора:

$$P_{\text{ЭЭ}} = 3600 \frac{V_{\text{кЭ}}}{t_{\text{ц}}} \cdot K_{\text{тхЭ}} \cdot K_{\text{н}} \cdot 1/K_{\text{р}} \cdot (\tau_{\text{р}}/(\tau_{\text{р}}+\tau_{\text{п}})) \cdot K_{\text{в}}. \quad (6)$$

Таким образом, новыми моделями (4-6) изменена полнота представления фактической производительности экскаватора.

Модели производительности (1-6) включают множество параметров, которые могут определяться более развернуто и точно, т.е. необходимо переходить к процессно-прецизионным оценкам производительности экскаваторов.

Теоретическая производительность может быть представлена как:

$$P_{\text{тЭ}} = 3600 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{V_1}^{V_2} V_{\text{тЭ}}(t) dt V(v) dv / [\sum \tau_{\text{ц т Э}} (\text{Ти}, \text{Фт})], \quad (7)$$

где $V_{\text{тЭ}}(t)$ – теоретическая функция, определяющая идеальный процесс заполнения ковша горной массой в процессе реализации эталонной технологической операции черпания и загрузки на все механизмы экскаватора; t_1, t_2 – временные пределы интегрирования, одновременно определяющие моменты начала и конца эталонного черпания горной массы и нормирующие временной интервал увеличения нагрузки на механизмы напора, подъёма и поворота экскаватора;

V_1, V_2 – объёмные интервалы интегрирования;

$\tau_{\text{ц т Э}} (\text{Ти}, \text{Фт})$ – составляющие теоретической продолжительности времени одного эталонного циклического процесса экскавации, погрузки и разгрузки горной массы, с.;

$P_{\text{тЭ}}$ – теоретическая производительность экскаватора, м³/ч;

Фт теоретические факторы влияния (например, отражающие конструктивные особенности частей, узлов, схемных решений электротехнической и электронной частей, алгоритмического и программного обеспечения).

Анализ и исследования модели (7) на основе двойного интегрирования по объёму и времени позволяет уточнять процессно-прецизионные показатели производительности экскаватора (отметим, что износ деталей и узлов непрерывен, а значит постоянно изменяются: положения центров тяжести деталей и узлов, нагрузки и т.д.).

Изучение и точная оценка технической производительности это - важнейший переход от теоретических конструктивных возможностей экскаватора к его правильному и качественному изготовлению (примерами могут служить Ижорский завод и УРАЛМАШ).

Техническая производительность с процессно-прецизионной оценкой параметров имеет вид:

$$P_{\text{тхЭ}} = 3600 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{V_1}^{V_2} V_{\text{тхЭ}}(t) dt V(v) dv / [\sum \tau_{\text{ц тх}} (\text{Ти}, \text{Фтх})] \cdot K_{\text{тхЭ}}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{ц тхЭ}} (\text{Ти}, \text{Фтх})$ – составляющие технической продолжительности времени одного эталонного циклического процесса экскавации, погрузки и разгрузки, с.; $P_{\text{тхЭ}}$ – техническая производительность экскаватора, м³/ч.; Фтх - факторы технического влияния (новые материалы деталей, новые оснастка и технологии сборки и т.п.).

Для отражения особенностей технологий на МПИ вводим новый показатель - технологическую производительность тоже с высоким уровнем детализации и точности представления параметров. Имеем:

$$P_{\text{техЭ}} = 3600 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{V_1}^{V_2} V_{\text{техЭ}}(t) dt V(v) dv / [\sum \tau_{\text{ц тех}} (\text{Ти}, \text{Фтех})] \cdot K_{\text{тхЭ}} \cdot K_{\text{н}} \cdot 1/K_{\text{р}} \cdot (\tau_{\text{р}}/(\tau_{\text{р}}+\tau_{\text{п}})), \quad (9)$$

где $\tau_{\text{ц техЭ}} (\text{Ти}, \text{Фтех})$ – составляющие технической продолжительности времени одного эталонного циклического процесса экскавации, погрузки и разгрузки, с.;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления экскавируемой горной породы;

$\tau_{\text{р}}$ – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места установки;

$\tau_{\text{п}}$ – длительность одной передвижки экскаватора;

$P_{\text{техЭ}}$ – технологическая производительность экскаватора, м³/ч.;

Фтех - факторы технологического влияния (геометрические параметры экскавации (размещение горной массы)).

И эксплуатационная производительность в новой методике моделирования производительности экскаваторов при её процессно-прецизионной оценке определяется как:

$$P_{\text{ЭЭ}} = 3600 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{V_1}^{V_2} V_{\text{ЭЭ}}(t) dt V(v) dv / [\sum \tau_{\text{ц Э}} (\text{Ти}, \text{ФЭ})] \cdot K_{\text{тхЭ}} \cdot K_{\text{н}} \cdot 1/K_{\text{р}} \cdot (\tau_{\text{р}}/(\tau_{\text{р}}+\tau_{\text{п}})) \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{Э}}, \quad (10)$$

где $\tau_{\text{ц Э}} (\text{Ти}, \text{ФЭ})$ – составляющие технической продолжительности времени одного эталонного циклического процесса экскавации, погрузки и разгрузки, с.;

$P_{\text{ЭЭ}}$ – эксплуатационная производительность экскаватора, м³/ч.;

ФЭ - факторы эксплуатационного влияния (здесь важными являются погоднo-синоптические условия каждого МПИ).

Анализ новой модели (10) эксплуатационной производительности даёт возможность использовать результаты текущих наблюдений на всех технологических участках МПИ (эти наблюдения проводятся автором в течение ряда лет). Модели (8-10) включают данные измерений и контроля физических величин (размерных, весовых и т.д.)

точностью 0,0001% А это уже процессно-прецизионная оценка всего технологического процесса эксплуатации экскаваторов и АТС.

Разработанные и представленные новые модели (1-10) - это новый процессно-прецизионный аналитический метод. Он позволяет вести тестирования всех параметров и характеристик, выявляемых в процессе контроля и измерений экскавации горной массы на основе информационно-измерительных и компьютерных технологий.

Дальнейшее развитие моделей (7-10) включает интегрирование по координатам.

Для теоретической производительности имеем новую модель (11).

$$P_{TЭ} = 3600 \cdot \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} [q_{TЭ}(x_{KT}(t) dt) \cdot y_{KT}(t) dt \cdot z_{KT}(t) dt, Ti] / [\tau_{ц T Э}(Ti, ФТ),] \quad (11)$$

где $q_{TЭ}(Ti)$ - теоретическая вместимость ковша, м³;

$x_{KT}(t) dt \cdot y_{KT}(t) dt \cdot z_{KT}(t)$ и $\tau_{ц T Э}(Ti, ФТ)$ – теоретические параметры геометрии ковша и продолжительности времени одного эталонного циклического процесса, с.;

$P_{TЭ}$ – теоретическая производительность экскаватора, м³/ч.;

$ФТ$ – теоретические факторы влияния.

Новая модель технической производительности в данном подходе имеет вид

$$P_{TХЭ} = 3600 \cdot \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} [q_{TХЭ}(x_{TХ}(t) dt) \cdot y_{TХ}(t) dt \cdot z_{TХ}(t) dt, Ti] / [\tau_{ц T Э}(Ti, ФТХ)] \cdot K_{TХ}, \quad (12)$$

где $q_{TХЭ}(Ti)$ - техническая вместимость ковша, м³;

$\tau_{ц T Э}(Ti, ФТХ)$ – технические параметры геометрии ковша и продолжительности времени одного циклического процесса, с.;

$K_{TХ}$ – коэффициент, отражающий уровень технического развития предприятия изготовителя экскаваторов;

$P_{TХЭ}$ – техническая производительность экскаватора, м³/ч.;

$ФТХ$ - факторы технического влияния.

Переходя к разработанной технологической модели производительности имеем

$$N_{TХЭ} = 3600 \cdot \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} [q_{TХЭ}(x_{TХ}(t) dt) \cdot y_{TХ}(t) dt \cdot z_{TХ}(t) dt] / [\tau_{ц T Э}(Ti, ФТХ)] \cdot K_{TХ} \cdot K_{Н} \cdot (1/K_{р}) \cdot (\tau_{р} / (\tau_{р} + \tau_{п})), \quad (13)$$

где $q_{TХЭ}(Ti)$ - технологические: вместимость ковша, м³;

технологические параметры геометрии ковша и $\tau_{ц T Э}(Ti)$ – продолжительности времени одного циклического процесса, с.;

$P_{TХЭ}$ – технологическая производительность экскаватора, м³/ч.;

$K_{Н}$ – коэффициент наполнения ковша;

$K_{р}$ – коэффициент разрыхления экскавируемой породы;

$\tau_{р}$ – длительность непрерывной работы экскаватора с одного места установки;

$\tau_{п}$ – длительность одной передвижки экскаватора; $ФТХ$ - факторы технологического влияния.

И новая процессно-прецизионная эксплуатационная модель производительности имеет вид:

$$P_{ЭЭ} = 3600 \cdot \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} [q_{Э}(x_{Э}(t) dt) \cdot y_{Э}(t) dt \cdot z_{Э}(t) dt] / [\tau_{ц T Э}(Ti, ФЭ)] \cdot K_{Н} \cdot (1/K_{р}) \cdot (\tau_{р} / (\tau_{р} + \tau_{п})) \cdot K_{ВЭ} \cdot K_{ЭЭ}, \quad (14)$$

где $q_{Э}(Ti)$ - эксплуатационные: вместимость ковша, м³;

$x_{Э}(t) dt \cdot y_{Э}(t) dt \cdot z_{Э}(t)$ – параметры геометрии ковша;

$\tau_{ц T Э}(Ti, ФЭ)$ – продолжительность времени одного циклического процесса, с.;

$N_{ЭЭ}$ – эксплуатационная производительность экскаватора, м³/ч.;

$K_{Н}$ – коэффициенты: $K_{Н}$ – наполнения ковша, $K_{р}$ – разрыхления экскавируемой породы, $K_{ВЭ}$ – использования экскаватора;

длительности: $\tau_{р}$ – непрерывной работы экскаватора с одного места установки, $\tau_{п}$ – одной передвижки экскаватора;

$K_{ЭЭ}$ – коэффициент качества эксплуатации экскаватора (существенно зависит от квалификации обслуживающего персонала операторов, машинистов, ремонтников и т.д.);

$ФЭ$ - факторы влияния при изменчивости условий эксплуатации экскаватора на различных горизонтах карьеров и разрезов.

Заключение

Переход к моделям (11-14) на основе тройного интегрирования, ведение моделирования, разработка алгоритмического и программного обеспечения даёт более высокую точность всех расчётов производительности экскаваторов, ввиду использования: высокоточных геометрических измерений; инновационного подхода к идеологии её оценки. А это в свою очередь создаёт возможность правильнее отражать весь жизненный цикл экскаваторов, которые являются высоко затратными и значимо влияют на экономику МПИ.