

# Методология иерархических моделей процессно-прецизионной оценки качества при проектировании, изготовлении и эксплуатации горной техники машин (Г Т)

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

Горное производство важнейшая отрасль развития РФ, требующая глубокого научного понимания. Широко используемая в ней Г Т имеют высокий уровень сложности как при её создании, так и эксплуатации.

Для решения задач технической и технологической импортонезависимости необходимо вести постоянные исследования конструктивных особенностей Г Т. Это основа их правильного проектирования, как фундаментального процесса (исторического, географического, социального, правового, образовательного, экологического, технического, технологического, культурного, финансово-экономического, эстетического, этического и т.д.) /1-2/.



рис. 1. Информационный граф (ИГ) составляющих сложности создания и эксплуатации Г Т

Связи ИГ, представленного на рис. 1. имеют как направленность, так и количественные показатели. И чем он полнее, тем достовернее и точнее информация, необходимая для всей системы исследований процессов создания и эксплуатации Г Т. В разнообразии элементов ИГ прослеживается как системность, так и случайность принятия конструктивных решений по Г Т (рис.2). Важную роль при этом играет и уровень развития информационных технологий (ИТ). Далее заметим, что для любых Г Т есть показатели теоретической, технической и



рис. 2

Эксплуатационной нагруженности, производительности и надёжности Для устойчивого воспроизведения картины надёжности Г Т, работающей в сложных Природных условиях (а это характерно для всех МПИ) она определяется в том числе и коэффициентом оперативной готовности Г Т -  $Ког_{ГТ}(t)$ . Он отражает правильное функционирование их многочисленных деталей, узлов, механизмов, схем, конструкций различного назначения, частей и т.д., находящихся в исправном состоянии в любой момент времени.  $Ког_{ГТ}(t)$  иерархичен по своей структуре и может быть представлен как

$$Ког_{ГТ}(t) = M_{с ГТ}(t) / M_{о ГТ}(t), \quad (1)$$

где  $M_{с ГТ}(t)$ ,  $M_{о ГТ}(t)$  – среднее и общее количество исправных деталей, узлов, механизмов, схем, конструкций различного назначения, частей и т.д. Г Т. Некоторые примеры сложности эксплуатации Г Т в забоях и на перегрузке представлены на рис. 3.



рис. 3. Примеры сложности эксплуатации ГТ в забоях и на перегрузке

Неопределённость в определении сложности эксплуатации ГТ в забоях, на перегрузке, вскрыше любого месторождения полезных ископаемых (МПИ) требует разработки индивидуальной процессно-прецизионной оценки фактического  $K_{ГМ}$ . Он является интегральным показателем надёжности ГТ. И для точности, своевременности и достоверности необходим более высокий уровень полноты его описания. Например, иерархические модели оценки фактического количества высоко качественных деталей -  $m_{i и}(t)$  в конструкции любого узла ГТ (ГМ)

$$\begin{array}{c}
 \text{ДЕТАЛИ} \longrightarrow \text{УЗЕЛ} \\
 \alpha \\
 m_{i и}(t) = \sum_i K_{ni} n_{i и}(t), \quad (2)
 \end{array}$$

где  $n_{i и}(t)$  – количество работоспособных деталей в  $m_{i и}(t)$  узле, высококачественных, прошедших аудит и СМК, т.е. соответствующих стандартам (ГОСТам, ОСТАм, СТП и т.д.), в любой момент времени;  $K_{ni}$  – коэффициент качества каждой детали в  $m_{i и}(t)$  узле.

Иерархические модели оценки фактического количества высоко качественных узлов -  $p_{sj}(t)$  в конструкции сборочных единиц ГТ представляется в виде

$$\begin{array}{c}
 \text{УЗЛЫ} \longrightarrow \text{СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ} \\
 \beta \\
 p_{sj}(t) = \sum_j K_{ps} m_{j и}(t), \quad (3)
 \end{array}$$

где  $p_{sj}(t)$  – количество исправных  $p_{sj}(t)$ , высоко качественных, прошедших аудит и СМК, т.е. соответствующих стандартам (ГОСТам, ОСТАм, СТП и т.д.) сборочных единиц в ГТ в любой момент времени;  $K_{ps}$  – коэффициент качества каждой  $p_{sj}(t)$  сборочной единицы ГТ (рис. 3).

А иерархические модели оценки фактического количества высоко качественных сборочных единиц -  $p_{sv}(t)$  в конструкциях частей ГТ представляются в виде

$$\begin{array}{c}
 \text{СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ} \longrightarrow \text{ЧАСТИ ГМ} \\
 \gamma \\
 p_{sv}(t) = \sum_i K_{ps} p_{si}(t), \quad (4)
 \end{array}$$

где  $p_{sv}(t)$  – количество исправных  $p_{sv}(t)$ , высоко качественных, прошедших аудит и СМК, т.е. соответствующих стандартам (ГОСТам, ОСТАм, СТП и т.д.) частей ГТ в любой момент времени;  $K_{ps}$  – коэффициент качества каждой  $p_{sv}(t)$  части ГТ.

И, наконец, иерархическая модель оценки фактического качества  $v$ -й ГТ в целом представляется как.

$$\begin{array}{c}
 \text{ЧАСТИ ГМ} \longrightarrow \text{ГМ в целом} \\
 \gamma \\
 p_v(t) = \sum_u K_{ps} p_{sv}(t), \quad (5)
 \end{array}$$

где  $p_{sv}(t)$  – количество исправных  $p_{sv}(t)$ , высоко качественных, прошедших аудит и СМК, т.е. соответствующих стандартам (ГОСТам, ОСТАм, СТП и т.д.) части ГТ в любой момент времени;  $K_{ps}$  – коэффициент качества каждой части -  $p_{sv}(t)$  ГТ.

Иерархические модели (2-5) детально отражают иерархическую структуру конструкций Г Т. Примеры некоторых частей Г Т представлены на рис.4.



рис. 4. Примеры некоторых частей Г Т (экскаваторов)

Характерные примеры конструкций Г Т в технологии процесса её эксплуатации представлены на рис. 5.



рис. 5. Примеры использования конструкций Г М в технологии процесса эксплуатации

Как показано выше все модели исправных конструктивных единиц Г Т (1-5) имеют иерархическую структуру объединения, которая отражает сложную иерархию конструкции (практически не учитывая непрерывно изменяющееся число степеней свободы, смещения центров тяжести и других типов изменчивости в сборках узлов, а значит и в механизмах, частях, монтажных единицах и т.д. Всё это происходит ввиду постоянной экстремальной изменчивости условий эксплуатации в Природных условиях) любой Г Т (автотранспортные средства (АТС), экскаваторы, бульдозеры, конвейеры ... ), применяемой на карьерах, разрезах, россыпных месторождениях и др.

Для q-й Г Т имеем

$$r_q(t) = \sum_q^Y Kq p_{sj}(t), \quad (6)$$

где  $r_q(t)$  - структурная функция q-й Г Т в некоторый момент или период времени

$$r_q(\tau_{q-й ГМ}) = \sum_q^Y Kq p_{sj}(\tau), \quad (7)$$

Все модели (6-7) отражают структурные функции некоторой q-й Г Т, имеют открытый иерархический характер и могут дополняться различными коэффициентами, например, по особенностям ПРИРОДЫ на каждом МПИ и горных технологий, влиянию индивидуальных условий эксплуатации, квалификационных, социальных, правовых, образовательных, финансово-экономических проблем и др. Примеры работы экскаваторов в процессе реализации различных горных технологий представлены на рис. 6.

Определение качества любого промышленного изделия, в т.ч. и Г Т - это всегда сложная научно-техническая проблема. Здесь оценки противоречивы и неоднозначны. Это зависит от множества факторов – материалов деталей, точности и культуры изготовления деталей и проведения всех сборочных операций, определяемых соответствующими технологиями, уровня и оснащённости производства, ГОСТами, стандартами предприятия, аудитом и СМК. А также квалификацией, образованностью и культурой всех работающих, социально-трудовыми и правовыми условиями на предприятиях и т.д.



**ЧАСТИ ГМ – r → ГМ в целом**

$$p_v(t) = \sum_u K_{ps} p_s v(t)$$



**ЧАСТИ ГМ – r → ГМ в целом**

$$p_v(t) = \sum_u K_{ps} p_s v(t)$$

рис. 6. Работа экскаваторов в процессе реализации различных горных технологий

Особенность данного подхода, а именно, разработки методологии прецизионно-процессной оценки качества согласованных этапов жизненного цикла ГТ- проектирования, изготовления и эксплуатации заключается в том, что время-пространственная изменчивость качества (или какого-то другого измеряемого, наблюдаемого, контролируемого и т.д. показателя (например, конструктивного, технологического) всегда может быть количественно определено составлением уравнений в частных производных. А именно, определяя полный дифференциал, выражаемый через частные производные выбранных для исследования переменных

$$d K_{ni} = \frac{\partial K_{ni}}{\partial X_{ni}} d X_{ni} + \frac{\partial K_{ni}}{\partial Y_{ni}} d Y_{ni} + \frac{\partial K_{ni}}{\partial Z_{ni}} d Z_{ni} + \frac{\partial K_{ni}}{\partial t_{ni}} d t_{ni} + \dots \quad (8)$$

А для расчёта отклонений (ошибок оценки) необходим переход от полного дифференциала к приращениям. И тогда получаем

$$\Delta K_{ni} = \frac{\partial K_{ni}}{\partial X_{ni}} \Delta X_{ni} + \frac{\partial K_{ni}}{\partial Y_{ni}} \Delta Y_{ni} + \frac{\partial K_{ni}}{\partial Z_{ni}} \Delta Z_{ni} + \frac{\partial K_{ni}}{\partial t_{ni}} \Delta t_{ni} + \dots \quad (9)$$

где  $K_{ni}$  – исследуемый показатель качества любых деталей, узлов, механизмов, схем, конструкций различного назначения, частей и т.д. ГТ;  $X_{ni}, Y_{ni}, Z_{ni}, t_{ni}$  – переменные исследуемого показателя.

По получаемому выражению (9) можно рассчитывать (т.е. количественно оценивать) абсолютную величину  $\Delta K_{ni}$ , т.е. изменчивость выбранного того или иного показателя качества любых деталей, узлов, механизмов, схем, конструкций различного назначения, частей и т.д. ГТ /3/.

Получаемые отклонения  $\Delta K_{ni}$  могут быть выражены не только технической, но и экономической категорией. А на практике это означает, что любое снижение (или повышение) качества ГТ в целом оценивается в конкретном денежном выражении. И, кроме того, становится возможным определять относительную изменчивость выбранного показателя качества

$$\gamma_{K_{ni}} = \Delta K_{ni} / K_{ni} \quad (10)$$

Выражение (10) представляется графически (рис. 7). Функция  $\gamma_{K_{ni}}$  имеет пространственно-гиперболический характер и может быть полезна для нормирования и исследований показателей качества ГТ.

Показателей качества ГТ, их отклонения могут быть представлены, например, и для процесса совместной эксплуатации экскаватора и АТС при погрузке горной массы (рис. 2,3,5,7,8).

$$\begin{cases} \gamma_{\Delta K_{ni}} = \Delta K_{ni} / K_{ni} \\ \gamma_{ATC K_{ni}} = \Delta K_{ni} / K_{ni} \end{cases} \quad (11)$$

Полученные в данной работе расчётные выражения (8-11) используются на практике, т.к. дают новую полноту и процессно-прецизионный уровень точности оценки качества (рис. 7), позволяют учитывать технические, технологические, географические, правовые, финансово-экономические, социальные и многие другие аспекты проектирования, Используя выражения (8-11) можно оперативно рассчитывать отклонения показателей качества ГТ, нормировать их, выявлять причины изменчивости этих показателей.

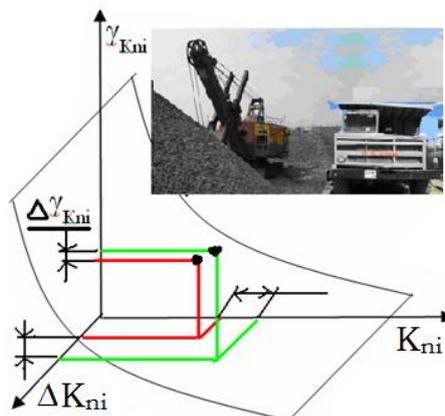


рис.7. Нормированная пространственно-гиперболическая функция  $\gamma_{K_{ni}}$



рис. 8. Пример совместной эксплуатации экскаватора и АТС при погрузке горной массы

$$\begin{cases} \gamma_{\text{Э Кni}} = \Delta K_{\text{ni Э}} / K_{\text{ni Э}} \\ \gamma_{\text{АТС Кni}} = \Delta K_{\text{ni АТС}} / K_{\text{ni АТС}} \end{cases} \quad (11)$$

Важна и значительна результативность разработанной и представленной прецизионно-процессной методологии оценки качества показателей надёжности (нагруженности, производительности) Г Т.

Для эксплуатации Г Т важна безопасность, определяемая многими влияющими факторами, и существенно здесь отметить то, что безопасность работы Г Т зависит и от материалов из которых изготовлены детали. Известно, что качество материалов хорошо представлено классической научной дисциплиной «Материаловедение». Но для Г Т этого недостаточно, т.к. важно и использование множества сочетаний материалов, из которых сделаны детали, затем собраны в узлы, функционирующие в различных (в т.ч. и ненормированных) режимах, определяемых экстремальными условиями эксплуатации. И на практике получающиеся свойства материалов либо слабо изучены, или вообще не известны. А работа Г Т как известно всегда ведётся в экстремальных условиях, как Природных, так и нагрузочно-технологических, часто ненормированных. Поэтому необходимо развивать новое теоретико-практическое направление по изучению и исследованию материалов и их сочетаний, например, научную дисциплину - «Теоретические основы материаловедения».

А далее изучать и исследовать качество того или иного материала подтверждается при эксплуатации Г Т, в процессе ведения эксплуатационных технологий на различных МПИ с учётом изменчивости статики, кинематики, динамики работы каждой детали, узла, механизма, части и т.д. Г Т (рис. 8).

И так, впервые, представленный и развиваемый прецизионно-процессный подход позволяет создавать новые комбинированные иерархические модели конструкций Г Т и вести исследования изменчивости показателей качества нескольких, совместно эксплуатируемых единиц Г Т (11), например, «Экскаватор - АТС», «Экскаватор - АТС - бульдозер» и т.д. А именно, такая комплексная эксплуатационная ситуация достаточно часто встречается на МПИ.

## Выводы

1. В условиях решения задач импорто независимости РФ, социальной неоиндустриализации необходимо развивать новые отечественные направления проектирования Г Т, в т.ч. только на базе отечественного программного обеспечения.

2. Представленная методология прецизионно-процессной оценки качества при проектировании, изготовлении и эксплуатации ГМ позволяет решать задачи достижения высоких показателей - *качество* отечественных Г Т, а значит и повышение безопасности при работе на горно-добывающих объектах РФ, их конкурентную способность, *надёжность, эргономичность, комфортность, экономичность, социальность и т.д.*

3. Далее - появляются широкие возможности перспективного развития отечественной горной техники на фундаментальных научных исследованиях, с прогнозированием её состояния и управления жизненным циклом Г Т как сложных технических комплексов.

4. Открывается возможность точнее и правильнее определять и сопоставлять нормативное состояние Г Т, не только отечественных, но и зарубежных. Вопрос: всегда ли правильно и оправдано приобретение техники иностранных фирм для наших МПИ РФ ???

5. Высококачественные отечественные Г Т создают разнообразие улучшающих технологий во многих отраслях РФ, т.к., например, создаются: в условиях развития отечественного программного обеспечения, 3D технологий, элементами робототехники, INTERNET- процессов и т.д. Всё это становится основой устойчивого национального технического возрождения РФ.

6. Способствует новым перспективам регионального развития промышленности с учётом новых моделей разделения труда при проектировании Г Т (новый уровень автоматизации, применение новых комплектующих массовых серий (например, двигателей, устанавливаемых на экскаваторах и АТС, приводов)); изготовлении (модернизация станочного парка на базе станков с ЧПУ) и высоко квалифицированной эксплуатации Г Т; образования (создание новых специальностей и специализаций, совершенствования подразделений повышения квалификации, в том числе и без отрыва от производства).

## Литература

1. Ткачева Т.А. Концептуальность новых систем для добывающих отраслей промышленности. XV международная конференция «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управление этапами жизненного цикла промышленного производства (CAD/CAM/PDM-2015)» 26-28 сентября 2015 г., г. Москва. ИПУ РАН.
2. Ткачева Т.А. Технологический контролинг как основа информационно-аналитической системы процессного управления современным карьерным автотранспортом (КАТ). Труды международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» Серия: научные конференции, посвящённые дню РАДИО (выпуск LXVIII) РНТО РЭС им. А.С. Попова. Москва. -2013. - С.366-370.
3. О методологии нового развития метрологического обеспечения комплексного интерфейса для горного производства. Сб. трудов XV НТК «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург. 20-21 апреля 2017 г. С. 374-379.