

*На правах рукописи*

**ИВАНОВА Полина Викторовна**



**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ  
НАРАБОТКИ КАРЬЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ЭКСКАВАТОРА БОЛЬШОЙ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ С  
УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ПРИРОДНО-  
ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

Специальность: 05.05.06 – Горные машины

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

*Научный руководитель –*  
доктор технических наук, профессор

***Иванов Сергей Леонидович***

*Официальные оппоненты:*

***Комиссаров Анатолий Павлович***

доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», кафедра горных машин и комплексов, профессор

***Великанов Владимир Семенович***

кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра горных машин и транспортно-технологических комплексов, профессор

***Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет"***

Защита диссертации состоится 17 мая 2019 г. в 12 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.07 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 15 марта 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ  
Иван Евгеньевич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** Карьерные экскаваторы занимают важное место в технологическом процессе добычи полезных ископаемых открытым способом.

Как показывает практика, существенное влияние на наработку электрических карьерных экскаваторов оказывают факторы природно-техногенного воздействия, которые влияют на интенсивность потока отказов, величина которых зависит от степени воздействия этих факторов на горную машину. Так, не запланированные остановки электрических карьерных экскаваторов, связанные с аварийными отказами могут достигать до 35% фонда рабочего времени.

Не учет этих факторов ведет к резкому снижению эффективности использования дорогостоящей горной техники. Так как, совместное естественное воздействие факторов природно-техногенного характера определяет интенсивность деградационных процессов машины, и при отклонении величин этих воздействий от номинальных условий эксплуатации возрастает риск аварийных отказов.

Таким образом, решение научной задачи по выявлению закономерностей изменения наработки электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности с учетом воздействия на него природно-техногенных факторов является актуальной.

**Степень разработанности темы исследования.** Влиянием различных факторов, оказывающих воздействие на работоспособность карьерных экскаваторов, занимались такие ученые как: Андреева Л.И., Великанов В.С., Домбровский Н.Г., Квагинидзе В.С., Кох П.И., Красникова Т.И., Махно Д.Е., Морозов А.Г., Подэрни Р.Ю., Русихин В.И., Хажиев В.А., Чооду О.А., Шадрин А.И., Шибанов Д.А. и др.

Несмотря на значительный объем теоретических и экспериментальных исследований по выявлению изменения наработки электрического карьерного экскаватора от воздействия на него факторов природно-техногенного характера, не найдено окончательного решения и, в частности, не в полной мере раскрыт характер функциональных изменений наработки карьерного экскаватора от характера воздействия отдельных факторов и их интегрального влияния на ин-

тенсивность изменения технического состояния электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности, не достаточно глубоко изучен вопрос интенсивности протекания деградиционных процессов и применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта, все это требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

**Целью исследования** является установление закономерностей изменения наработки карьерного электрического экскаватора большой единичной мощности при его эксплуатации от интенсивности воздействия внешних факторов природно-техногенного характера в реальных условиях эксплуатации для обоснованного выбора стратегии технического обслуживания и ремонта и параметров системы ее реализации, технология проведения которой способствует повышению наработки между отказами карьерного экскаватора, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей отрасли страны.

**Идея исследования** заключается в том, что наработка электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности, комплексно зависящая от проявления факторов природно-техногенного характера, описана алгоритмом и реализована в информационной модели комплексной оценки технического состояния и выработки ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности в реальных условиях его эксплуатации, позволяющая спрогнозировать наработку карьерного экскаватора, как стареющего объекта, с учетом изменения погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий и применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта.

**Задачи исследования:**

1. Анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, полученных ранее по рассматриваемой тематике.
2. Сбор и анализ статистических данных по работе электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности.
3. Выявление функциональных зависимостей для оценки влияния факторов природно-техногенного воздействия на наработку

электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности и его техническое состояние в процессе эксплуатации.

4. Разработка алгоритма и информационной модели комплексной оценки технического состояния и выработки ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности в зависимости от погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий и применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта для прогноза наработки карьерного экскаватора.

5. Разработка регламента и рекомендаций по корректировке графиков проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту электрического карьерного экскаватора.

**Научная новизна исследования:**

1. Выявлены функциональные зависимости изменения наработки при эксплуатации карьерных электрических экскаваторов большой единичной мощности от совместного воздействия факторов природно-техногенного характера: погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий, с учетом старения объекта и применяемой стратегии технического обслуживания и ремонта, которые носят экспоненциальный характер, а показатели функции определяются величинами соответствующих факторов.

2. Разработан алгоритм и информационная модель комплексной оценки технического состояния и выработки ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности с учетом погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий и применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта для прогноза наработки карьерного экскаватора, как стареющего объекта.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложено оценивать влияние погодных условий на величину параметра потока отказов индексом жесткости погоды, который определяется среднемесячными значениями средней и абсолютной температуры, скорости ветра, влажности воздуха, солнечной радиации, рассеиванием температуры, количеством дней с туманами, бурями и

метелями. Комплексный показатель оценки влияния определяется отношением времени производительной работы экскаватора с учетом потерь времени, связанных с интенсификацией потока отказов, вызываемых ухудшением условий функционирования горной машины в зависимости от факторов природно-техногенного воздействия, отнесенных к наработке за рассматриваемый период для номинальных условий эксплуатации экскаватора большой единичной мощности.

Разработанная модель и программа используются для оценки комплексного влияния погодных условий, качества подготовки забоя, горно-геологических условий эксплуатации и стратегий технического обслуживания и ремонта на период эксплуатации электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности и прогноза наработки с последующей рекомендацией для проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту.

Результаты исследования использованы при разработке эксплуатационной и ремонтной документации в ООО «ИЗ-КАРТЕКС имени П.Г. Коробкова», в частности «Руководство по эксплуатации экскаваторов ЭКГ-32Р и ЭКГ-35К»; «Регламент технического обслуживания и ремонтов экскаваторов ЭКГ-32Р и ЭКГ-35К».

**Методология и методы исследования.** При решении поставленных задач используется комплексный подход, включающий научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований, обработку и анализ результатов производственных наблюдений, факторный анализ и компьютерное моделирование.

**Соответствие паспорту специальности.** Тема исследования соответствует п.5 «Повышение долговечности и надежности горных машин и оборудования», п.6 «Разработка и совершенствование технологических процессов с целью обеспечения высокого качества горных машин на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации с учетом специфики работы на горных предприятиях» области исследований паспорта специальности 05.05.06 – Горные машины.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Интенсивность воздействия на деградационные процессы электрического карьерного экскаватора большой единичной

мощности оценивается комплексным показателем – индексом жесткости погоды, который зависит от абсолютных значений скорости ветра, влажности воздуха, солнечной радиации и максимальных и среднемесячных температур, достигая максимальных значений при низких отрицательных температурах, при этом с увеличением индекса жесткости погоды количество отказов карьерного экскаватора адекватно описывается экспоненциальной зависимостью.

2. Степень воздействия факторов природно-техногенного характера на наработку электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности, оцениваемая с применением информационной модели, учитывающей в конкретных условиях эксплуатации влияние погодных и горно-геологических условий, качество подготовки забоя и горной массы, а также принятой стратегии технического обслуживания и ремонта, позволяет обоснованно корректировать график регламентных работ экскаватора, как стареющего объекта, и анализировать эффективность возможных решений по его применению.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Достоверность результатов работы подтверждается корректностью постановки задач исследований; представительным объемом достоверной статистической информации, для обработки которой использовался апробированный математический аппарат; теория построена на известных, проверяемых фактах и хорошо согласуется с данными производственных наблюдений; удовлетворительной сходимостью результатов моделирования с реальными процессами выработки карьерными экскаваторами ресурса, описанными в научной литературе и наблюдаемыми на производстве.

Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и получили положительную оценку на Международных конференциях: 55 students scientific session (mining section) (г. Краков, 2014 г.); Международной научно-практической конференции «Наука и образование в жизни современного общества» (г. Тамбов, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы технических

наук в России и за рубежом» (г. Новосибирск, 2015 г.); трудов III международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.); IV международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); 12-я Международная конференция «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2016 г.); XXV международный симпозиум горнодобывающей отрасли – «Неделя горняка» (г. Москва, 2017 г.); XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2017 г.); VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017)» (г. Томск, 2017 г.); Международной конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.).

**Личный вклад соискателя** состоит в анализе факторов, влияющих на эксплуатацию электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности; в обработке и анализе результатов производственных наблюдений за работой экскаваторов ЭКГ-32Р; в обосновании индекса жесткости погоды – комплексного показателя, позволяющего учесть погодный фактор; в разработке алгоритма и информационной модели комплексной оценки технического состояния и величины ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности от погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий и применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта для прогноза наработки электрического карьерного экскаватора; разработке прикладной компьютерной программы, позволяющей прогнозировать наработку электрического карьерного экскаватора в заданных условиях эксплуатации.

**Данные о публикациях автора.** По результатам исследования опубликовано 17 печатных трудов, в том числе 5 статей в двух рос-



сийских изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования России, в том числе два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и содержание.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и шести приложений. Материалы работы изложены на 134 страницах машинописного текста, в том числе содержат 12 таблиц, 55 рисунков. Список цитируемой литературы включает 106 источников.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** представлены: актуальность и степень разработанности темы исследования, цель, идея, задачи и научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, соответствие паспорту специальности, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы, личный вклад соискателя, данные о публикациях автора.

**В первой главе** проведен обзор состояния изученности рассматриваемой научной задачи и обоснованы вопросы исследования. Дан обзор отечественных и зарубежных одноковшовых карьерных экскаваторов, проанализирована работа карьерных экскаваторов большой единичной мощности. Установлено, что в процессе эксплуатации карьерных экскаваторов действует ряд факторов, влияющих на наработку и техническое состояние экскаваторов. Определяющими факторами являются: горно-геологические, погодноклиматические условия, качество подготовки забоя и горной массы, организация ведения горных работ, управление экскаватором. Отмечено, что степень их влияния на величину наработки неоднозначна и требует приведения к единому показателю.

**Во второй главе** представлен анализ результатов производственных наблюдений за работой двух экскаваторов ЭКГ-32Р и пяти экскаваторов ЭКГ-18Р, эксплуатируемых АО «УК Кузбассразрезуголь». В качестве первичной информации использована документация по сервисному обслуживанию экскаваторов, ведущаяся с момента ввода машин в эксплуатацию. Обработанная статистическая информация включала в себя полные данные по отказам машин,

времени восстановления, плановым работам по техническому обслуживанию и ремонту, простоям по организационным причинам и погодному фактору, а также наработке экскаваторов в период с 2011 по 2015 годы. Результаты анализа позволили выявить факторы, оказывающие влияние на наработку карьерных экскаваторов и численно оценить вклад каждого фактора (рисунок 1).

Установлено, что значительное влияние оказывают факторы природно-техногенного воздействия: горно-геологические условия, качество подготовки забоя и горной массы, стратегии ТО и Р и погодные условия (рисунок 2).

Выявлено распределение отказов по узлам и системам карьерного экскаватора (рисунок 3).

Для численной оценки влияния различных факторов на величину наработки электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности введены коэффициенты весомости этого воздействия, при этом данные коэффициенты представлены в виде непрерывных функций.

Непрерывная функция изменения коэффициента экскавации  $K_{э}$  в зависимости от категории горных пород для экскаваторов ЭКГ-32Р может быть представлена в виде выражения:

$$K_{э} = 0,007B^2 - 0,137B + 1,054, \quad (1)$$

где  $B$  – категория горных пород по трудности экскавации.

Влияние качества подготовки забоя и горной массы предлагается оценивать коэффициентом  $K_{НГБ}$ , учитывающим выход негабарита. Коэффициент был получен на основании анализа зависимостей количества отказов и времени восстановления от процента выхода негабарита.

$$K_{НГБ} = \frac{6800 - 126,49e^{0,06НГ}}{6800} = 1 - 1,86 \cdot 10^{-2} e^{0,06НГ}; \quad (2)$$

где 6800 – базовое значение максимально возможной продолжительности функциональной работы карьерного экскаватора, определяемое как разность фонда календарного времени и продолжительности на проведение плановых мероприятий по ТО и Р, час, НГ – процент выхода негабарита, %.

Влияние угла наклона рабочей площадки предлагается оценивать коэффициентом, который был получен на основании анализа зависимостей количества отказов и времени восстановления от угла наклона рабочей площадки.

$$K_{\text{уп}} = 1 - 6,45 \cdot 10^{-4} e^{0,83\alpha}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – отклонение угла наклона рабочей площадки от горизонтали в градусах.

Влияние стратегий ТО и Р предлагается оценивать соответствующим коэффициентом, который определяется отношением разности времени производительной работы и суммарного времени восстановления после отказа к фонду календарного времени при реализации конкретной стратегии ТО и Р.

$$K_{\text{ТОиР}} = \frac{T_{\text{пр}} - T_{\Sigma \text{в}}}{\Phi_{\text{к.в.}}} = \frac{(\Phi_{\text{к.в.}} - T_{\Sigma \text{орг}} - T_{\Sigma \text{то}}) - T_{\Sigma \text{в}}}{\Phi_{\text{к.в.}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{пр}}$  – время производительной работы экскаватора, ч;  $T_{\Sigma \text{в}}$  – суммарное время восстановления после отказа при принятой стратегии ТО и Р, приведенное к году эксплуатации ч.;  $\Phi_{\text{к.в.}}$  – годовой фонд календарного времени, равный 8760 ч.;  $T_{\Sigma \text{орг}}$  – суммарное время простоев по организационным причинам, по результатам обработки статистических данных принято равным 1000 ч за год эксплуатации;  $T_{\Sigma \text{то}}$  – суммарное время простоев на проведение плановых мероприятий по ТО и Р за год, по результатам обработки статистических данных принято равным 900 ч.

Для оценки весомости каждого фактора, рассматриваемого в предложенном алгоритме (рисунок 4), предусматривается сравнение прогноза наработки в реальных условиях с наработкой в номинальных условиях эксплуатации, для работы в которых предназначена машина. Сравнением возможно учесть как совместное воздействие факторов, так и воздействие каждого фактора в отдельности, что дает возможность определить, насколько воздействие того или иного фактора снижает наработку от номинальных ее значений при прочих равных условиях.

**В третьей главе** подробно рассмотрено влияние на наработку карьерных экскаваторов погодного фактора.

Погодный фактор является комплексным, включающим в себя воздействия множества параметров, таких, как температура воздуха окружающей среды, влажность воздуха, скорость ветра и др. Для оценки влияния погодного фактора на надежность машин необходимо множество параметров свести к одному интегральному показателю. Такой показатель был предложен П.И. Кохом и получил название технической жесткости климата, которая оценивается отдельно для жаркого и холодного климата.

Ранговый анализ по П.И. Коху даёт общую, точечную оценку жесткости климата в отношении оборудования при средних значениях погодных условий в течение трех наиболее холодных месяцев или наиболее теплых месяцев.

Такой подход не дает возможности в полной мере оценить влияние погодного фактора на надежность карьерных экскаваторов, так как в течение календарного года одна и та же машина испытывает воздействие показателей как холодного, так и жаркого климата.

В отличие от показателя технической жесткости по П.И. Коху, предлагается перейти к единому интегральному показателю – индексу жесткости погоды, который учитывает влияние параметров как холодного, так и жаркого климата на протяжении всего календарного времени работы машины.

$$I_n = (0,75|t_{cp} - 8| + 0,25|t_{abs} - 2|)(1 + 0,015\sigma)(1 + 0,07\nu)(1 + 0,26\varphi)(1 + 0,01R) \times (1 + 0,014n)(1 + 0,022\tau), \quad (5)$$

где  $I_n$  – индекс жесткости погоды;  $t_{cp}$  – среднемесячная температура, °С;  $t_{abs}$  – абсолютный max/min температуры, °С;  $\sigma$  – средняя непериодическая амплитуда суточных колебаний температуры воздуха, °С;  $\nu$  – средняя скорость ветра, м/с;  $\varphi$  – среднее значение относительной влажности воздуха, доли единицы;  $R$  – среднее значение месячной суммы суммарной солнечной радиации, ккал/см<sup>2</sup>;  $n$  – среднее за месяц значение числа дней с метелями, туманом и пыльной бурей;  $\tau$  – продолжительность действия в месяцах положительных/отрицательных температур.

Для оценки влияния погодного фактора на работу экскаваторов ЭКГ-32Р, эксплуатируемых АО УК «Кузбассразрезуголь» был про-

веден расчет индекса жесткости погоды для условий Сибирского ФО. На рисунке 5 представлено изменение индекса жесткости погоды в данном регионе в период с 2011 по 2015 гг.

Из диаграммы можно сделать вывод, что наибольшее значение индекса жесткости погоды, характеризующее наименее благоприятные условия, приходится на холодное время года. Наибольшее время эксплуатации (25 %) приходится на интервал индекса жесткости погоды 30-40 (рисунок 6).

В неблагоприятных климатических условиях, а именно при значениях индекса жесткости погоды более 55 экскаваторы эксплуатируются 30% от общего времени, что позволяет сделать вывод о значительном влиянии погодного фактора на эксплуатацию экскаваторов ЭКГ-32Р в рассматриваемых условиях.

Для оценки влияния погодных условий на надежность работы карьерных экскаваторов ЭКГ-32Р, учитывая разный уровень вклада этих проявлений на снижение работоспособности, встала задача приведения этих факторов. В качестве базы приведения были взяты номинальные условия эксплуатации экскаватора согласно паспорту машины, которые составляют примерно 1/4 от общей наработки экскаватора. Индекс жесткости погоды для этих условий находится в пределах 30-40.

Для приведения были использованы повышающие коэффициенты, равные отношению базовой величины наработки к фактической в пределах выбранных интервалов индекса жесткости погоды. Умножая данные коэффициенты на фактическую наработку в пределах заданной жесткости, удалось выровнять между собой временные промежутки функционирования экскаватора во всем диапазоне интервалов индекса жесткости погоды. Индексы жесткости погоды и соответствующие им повышающие коэффициенты представлены в таблице ниже.

Таблица 1 – Соответствие повышающих коэффициентов индексу жесткости погоды

$I_n$	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
$k_n$	1,39	1,56	1	2,27	6,25	1,67	2,78	12,5

Приведенное количество отказов в выровненных интервалах наработки с учетом фактических аварийных отказов на производстве позволяет выявить функциональные зависимости влияния только погодных проявлений на безотказную работу экскаватора при прочих равных условиях.

В результате сопоставления приведенного количества отказов, определенного на основе статистических данных с учетом повышающих коэффициентов с индексом жесткости погоды были получены зависимости, представленные на рисунке 7.

На рисунке 7 представлены распределения количества отказов карьерного экскаватора ЭКГ-32Р по узлам, а именно: электродвигатели, устройства управления, канаты, трансмиссии, зубья ковша, рабочее оборудование и ходовая тележка.

Была получена зависимость экспоненциального вида, с помощью которой можно определить количество отказов и среднее время восстановления и тем самым оценить влияние погодных условий на техническое состояние карьерного электрического экскаватора. Зависимость представлена на рисунке 8.

Из графика, представленного на рисунке, следует, что с увеличением индекса жесткости погоды среднее время восстановления карьерного экскаватора после отказа увеличивается по экспоненциальному закону. Уравнение регрессии  $y = 259,32e^{0,015I_n}$  применено при выводе формулы для коэффициента, учитывающего погодные условия (коэффициент индекса жесткости погоды  $K_{ИП}$ ) с целью прогноза наработки карьерного экскаватора:

$$K_{ИП} = \frac{6800 - 259,32e^{0,015I_n}}{6800} = 1 - 3,8 \cdot 10^{-2} e^{0,015I_n}, \quad (6)$$

где  $I_n$  – индекс жесткости погоды, определяется по выражению 5 для реальных условий эксплуатации карьерного экскаватора.

Таким образом, первое положение, вынесенное на защиту, следует считать доказанным.

**В четвертой главе** представлена информационная модель прогнозирования и оценки наработки электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности в номинальных и заданных условиях эксплуатации. Приведен математический аппарат, описа-

ние и интерфейс прикладной программы расчета наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р. Представлены результаты моделирования, позволяющие установить влияние на наработку экскаватора каждого фактора: качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий, погодных условий, принятой стратегии ТО и Р.

Прогноз годовой наработки карьерного экскаватора в реальных условиях эксплуатации определяется по формуле:

$$Q = 3600 t_{\text{ц}}^{-1} E T K_{\text{з}} K_{\text{ТОиР}} K_{\text{НГБ}} K_{\text{уп}} K_{\text{ип}} (1 - 5 \cdot 10^{-4} Y^2 + 6 \cdot 10^{-4} Y), \quad (7)$$

где  $t_{\text{ц}}$  – время цикла, с;  $E$  – вместимость ковша, м<sup>3</sup>;  $T$  – фонд времени, час,  $Y$  – численное значение порядкового номера года эксплуатации.

Структура информационной модели комплексной оценки технического состояния и выработки ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности от факторов воздействия природно-техногенного характера представлена на рисунке 9.

По данной модели была разработана и запатентована компьютерная программа, позволяющая определять влияние на наработку карьерного экскаватора как каждого фактора в отдельности, так и оценивать совместное влияние различных факторов.

Прогноз наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р в номинальных и заданных условиях эксплуатации представлен на рисунке 10.

На основе разработанной в рамках диссертационной работы модели прогнозирования и оценки величины наработки электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности внесены изменения в регламент проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту экскаватора ЭКГ-32Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова».

Структура ремонтного цикла должна быть скорректирована в зависимости от реальных условий эксплуатации карьерного экскаватора с учетом факторного коэффициента  $K_{\text{ф}}$ , учитывающего уменьшение наработки карьерного экскаватора с учетом факторов природно-техногенного характера по сравнению с номинальными условиями эксплуатации и коэффициента естественного старения машины  $K_{\text{ст}}$ , который определен как отношение прогнозируемой наработ-

ки экскаватора в рассматриваемом году к его прогнозируемой наработке в первый год эксплуатации.

Рекомендуется регламентировать межремонтные периоды не в месяцах, а в сутках/часах, что позволит более точно учитывать остаточный ресурс деталей и узлов карьерного экскаватора, своевременно проводить техническое обслуживание и ремонт машины с учетом меняющихся условий эксплуатации.

Поскольку коэффициент естественного старения уменьшается с течением времени, соответственно межремонтные периоды будут сокращаться, что приведет к увеличению количества мероприятий по ТО и Р.

Годовой график проведения мероприятий по ТО и Р нового карьерного экскаватора ЭКГ-32Р для номинальных условий эксплуатации представлен на рисунке 11 а, а аналогичный график с учетом естественного старения для условий АО УК «Кузбассразрезуголь» – на рисунке 11 б. На рисунке 11 в представлен график проведения мероприятий по ТО и Р карьерного экскаватора на пятом году эксплуатации в условиях АО УК «Кузбассразрезуголь». На рисунке 11 приняты следующие обозначения: ТО<sub>м</sub> – ежемесячное обслуживание; ТР<sub>1</sub> – текущий ремонт первый (квартальный); ТР<sub>2</sub> – текущий ремонт второй (полугодовой); ТР<sub>3</sub> – текущий ремонт третий (годовой).

Таким образом, второе положение, вынесенное на защиту, следует считать доказанным.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

В диссертации приведены разработанные автором теоретические и практические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной задачи выявления закономерностей изменения наработки электрических карьерных экскаваторов большой единичной мощности с учетом воздействия факторов природно-техногенного характера.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Выявлены функциональные зависимости изменения величины потока отказов при эксплуатации карьерных электрических



экскаваторов, как стареющих объектов, от совместного воздействия факторов природно-техногенного характера: погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий, периода эксплуатации горной машины и применяемой стратегии ТО и Р, которые носят экспоненциальный характер, а показатели функции определяются величинами соответствующих факторов.

2. Разработаны методика и алгоритм комплексной оценки технического состояния и выработки ресурса электрического карьерного экскаватора большой единичной мощности в зависимости от погодных условий, качества подготовки забоя и горной массы, горно-геологических условий и применяемых стратегий ТО и Р для прогноза наработки карьерного экскаватора.

3. Предложено оценивать влияние погодных условий на параметр потока отказов индексом жесткости погоды, который определяется месячной среднегодовой: средней и абсолютной температурами, скоростью ветра, влажностью воздуха, солнечной радиацией, месячное среднегодовое: рассеивание температуры, количество дней с туманами, бурями и метелями.

4. Разработана и запатентована компьютерная программа, написанная на языке JavaScript и работающая в ОС Windows в диалоговом режиме, позволяющая определять влияние на наработку карьерного экскаватора как каждого фактора в отдельности, так и оценивать совместное влияние различных факторов.

5. Результаты работы использованы при разработке эксплуатационной и ремонтной документации в ООО «ИЗ-КАРТЕКС имени П.Г. Коробкова», в частности «Руководство по эксплуатации экскаваторов ЭКГ-32Р и ЭКГ-35К»; «Регламент технического обслуживания и ремонтов экскаваторов ЭКГ-32Р и ЭКГ-35К».

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:**

1. Анализ технического состояния карьерных экскаваторов / **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень «Горное дело в XXI веке:

технологии, наука, образование». – М: Горная книга. – 2015. – № 60-1. – С.154-162.

2. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов / **П.В. Иванова**, С.А. Асонов, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М: Горная книга. – 2017. – №7. – С. 51-57.

3. Индекс жесткости погоды как интегральный показатель влияния погодных условия на работоспособность карьерных экскаваторов / **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин, Д.А. Шибанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № S38. – С. 359-368.

4. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства ИЗКАРТЭКС / Д.А. Шибанов, Д.И. Шишляников, **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов // Научно-аналитический и производственный журнал «Горное оборудование и электромеханика». – 2015 г. – № 9. – С. 3-9.

5. Шибанов Д. А. Тарификация влияющих факторов на работу современных карьерных экскаваторов по себестоимости экскавации горной массы / Д.А. Шибанов, Д.И. Шишляников, **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов // Открытые горные работы в XXI веке. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1-2. – С. 24-33.

#### **Публикации в других отечественных изданиях:**

6. Анализ работоспособности экскаваторов при системе фирменного технического обслуживания (часть 1) / Д.А. Шибанов, А.А. Емельянов, **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 20-21 апреля 2017 г. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2017. – С. 401-405.

7. Анализ работоспособности экскаваторов при системе фирменного технического обслуживания (часть 2) / Д.А. Шибанов, А.А. Емельянов, **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов

XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 20-21 апреля 2017 г. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2017. – С. 405-408.

8. Выбор рациональной системы организации технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов для заданных горнотехнических условий / **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин, Д.А. Шибанов // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. Т. II / Под ред. В.В. Максарова – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2015. – С. 94-98.

9. **Иванова П.В.** Алгоритм выбора рациональной системы организации ТО и Р карьерных экскаваторов для заданных условий эксплуатации / П.В. Иванова, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 12-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.1: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2016. – С. 354-357.

10. **Иванова П.В.** Алгоритм прогнозирования наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р в заданных условиях эксплуатации / П.В. Иванова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME2017. Сборник тезисов. СПб: Санкт-Петербургский горный университет. – 2018. – С. 79.

11. **Иванова П.В.** Анализ отказов механического оборудования карьерных экскаваторов / П.В.Иванова, С.Л. Иванов // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: тезисы докладов – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2015. – С. 54.

12. **Иванова П.В.** Климат как фактор, влияющий на работоспособность карьерных экскаваторов / П.В. Иванова, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленно-

сти, строительства и энергетики. В 2 т. Т.1: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2017. – С. 267-271.

13. **Иванова П.В.** Оценка отказоустойчивости современных карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» / П.В. Иванова, С.Ю. Кувшинкин, Д.А. Шибанов // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Т. II / Под ред. В.В. Максарова – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2016. – С. 157-159.

14. Системы организации и стратегии технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов / **П.В. Иванова**, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин, Д.А. Шибанов // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, г. Новосибирск. – 2015. – С. 46-48.

15. Шибанов Д.А. Оценка эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов / Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, **П.В. Иванова** // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2014 г. Часть 3. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком». – 2015. – С. 158-160.

#### **Результаты интеллектуальной деятельности:**

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018614385. Определение рациональных длин стрелы, рукояти и вместимости ковша карьерного экскаватора (программа Orpcast) / Кувшинкин С.Ю., **Иванова П.В.** Заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – Заявка № 2018611580 от 20.02.18 Регистрация в Реестре программ для ЭВМ от 04.04.2018, Бюл. № 4.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018618377. Прогноз наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р / **Иванова П.В.**, Иванов А.С., Кувшинкин С.Ю. Заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – Заявка № 2018613666 от 13.04.18 Регистрация в Реестре программ для ЭВМ от 12.07.2018, Бюл. № 7.



Рисунок 1 – Факторы, воздействующие на изменение технического состояния карьерного экскаватора



Рисунок 2 – Распределение простоев экскаватора ЭКГ-32Р № 1

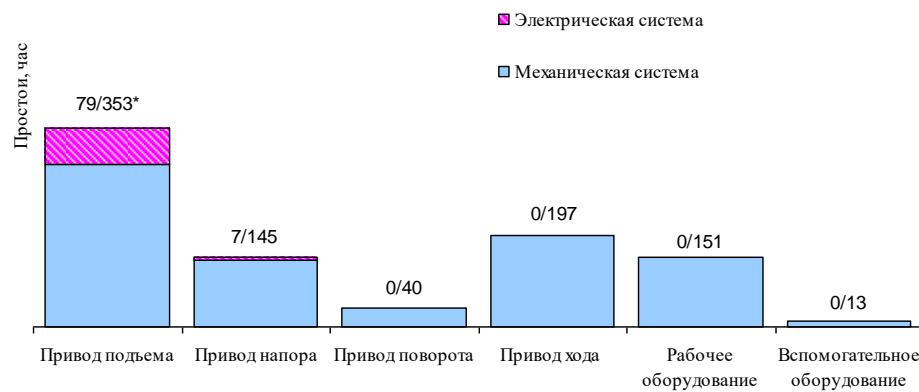


Рисунок 3 – Распределение времени восстановления работоспособности экскаватора ЭКГ-32Р №1 по системам с выделением электрической и механической частей

\*в числителе приведены значения простоев, связанные с отказами электрической, в знаменателе - с отказами механической систем экскаватора

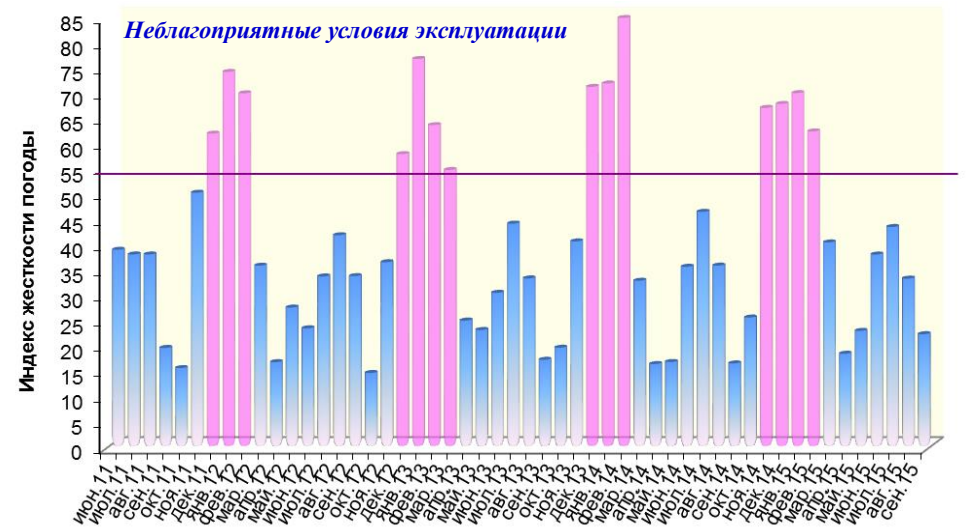


Рисунок 5 – Изменение величины индекса жесткости погоды в Сибирском ФО в период 2011-2015 гг.

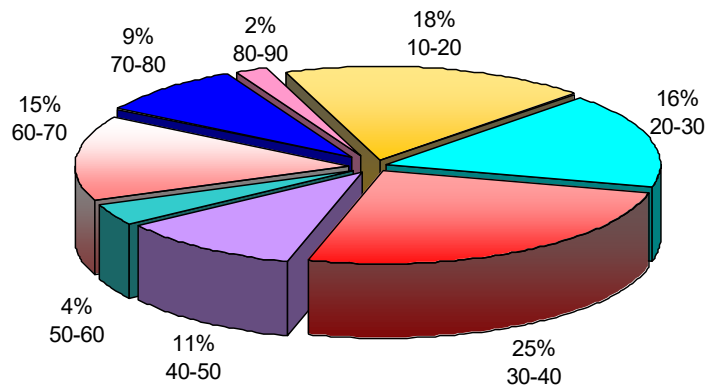


Рисунок 6 – Относительная наработка экскаваторов в погодных условиях при ее оценке индексом жесткости погоды  $I_{\Pi}$

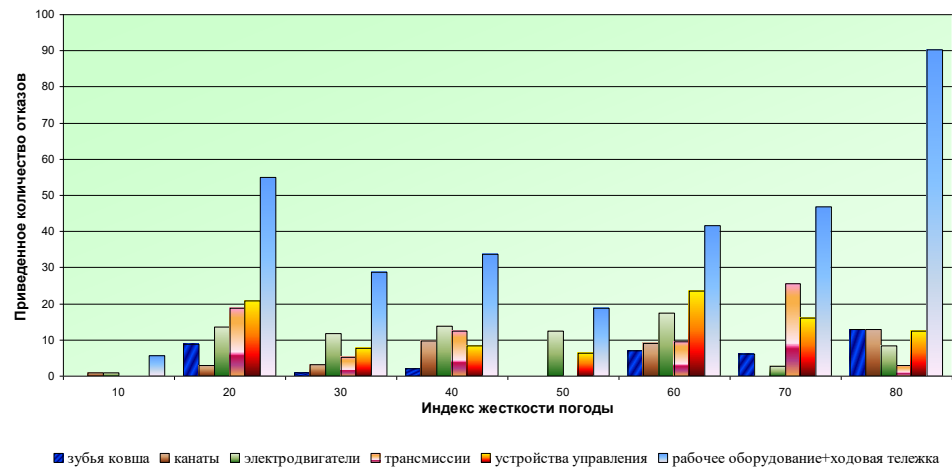


Рисунок 7 – Приведенное количество отказов по узлам в функции индекса жесткости погоды

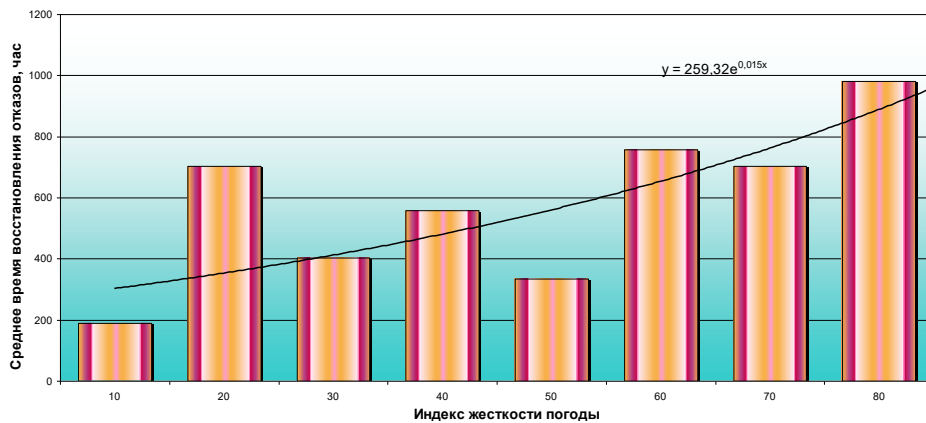


Рисунок 8 – Аппроксимация величины среднего времени восстановления отказов экскаватора ЭКГ-32Р в функции величины индекса жесткости погоды  $I_{\Pi}$

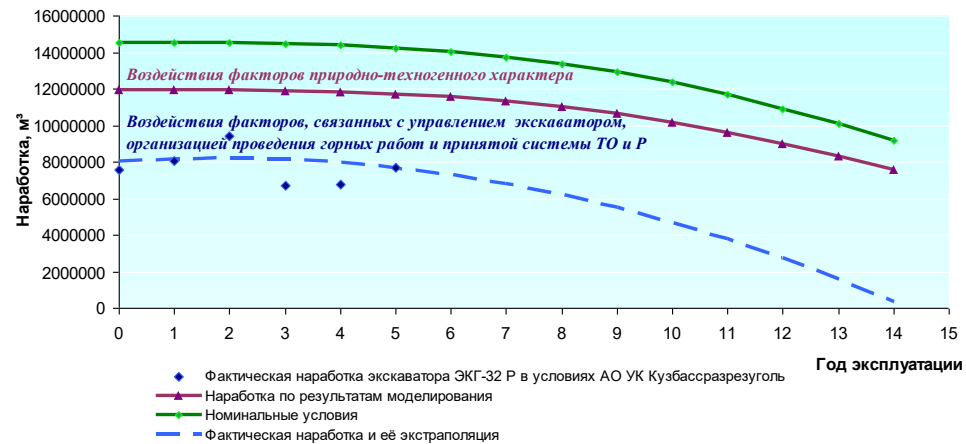
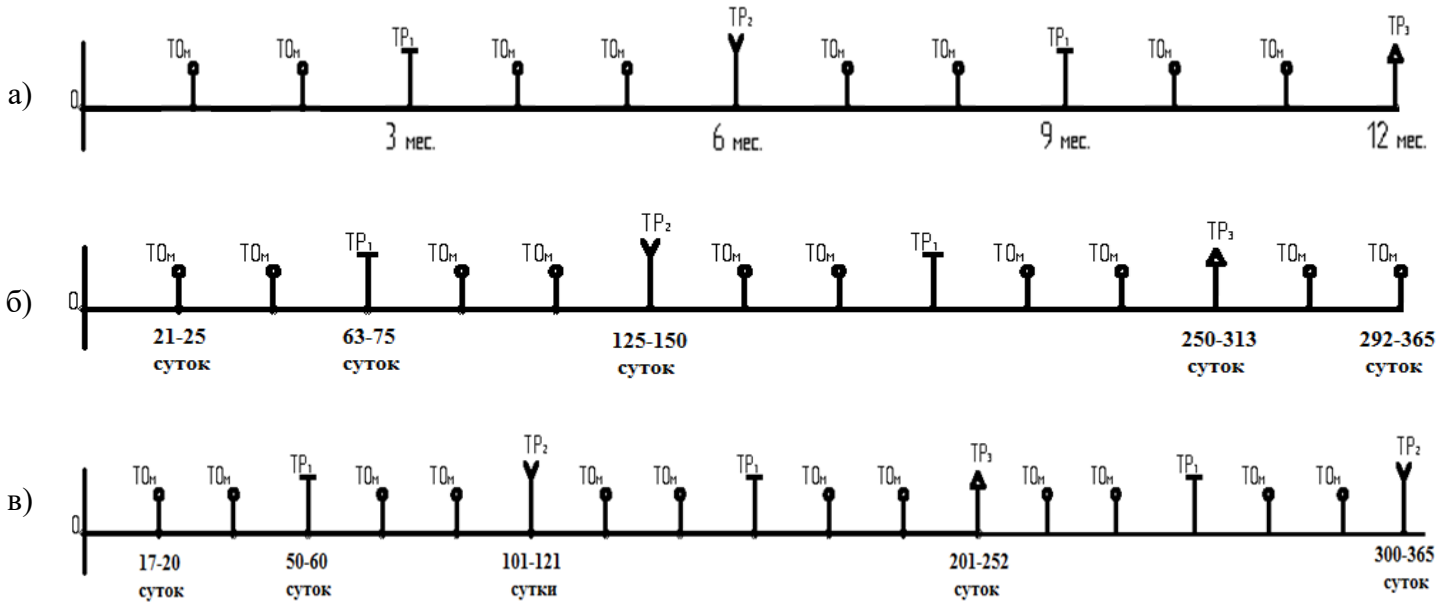


Рисунок 10 – Прогноз наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р



Рисунок 4 – Алгоритм оценки влияния факторов природно-техногенного характера



а) для номинальных условий эксплуатации; б) для условий АО УК «Кузбассразрезуголь» на первом году эксплуатации; в) для условий АО УК «Кузбассразрезуголь» на пятом году эксплуатации

Рисунок 11 – Годовой график проведения мероприятий по ТО и Р нового карьерного экскаватора ЭКГ-32Р

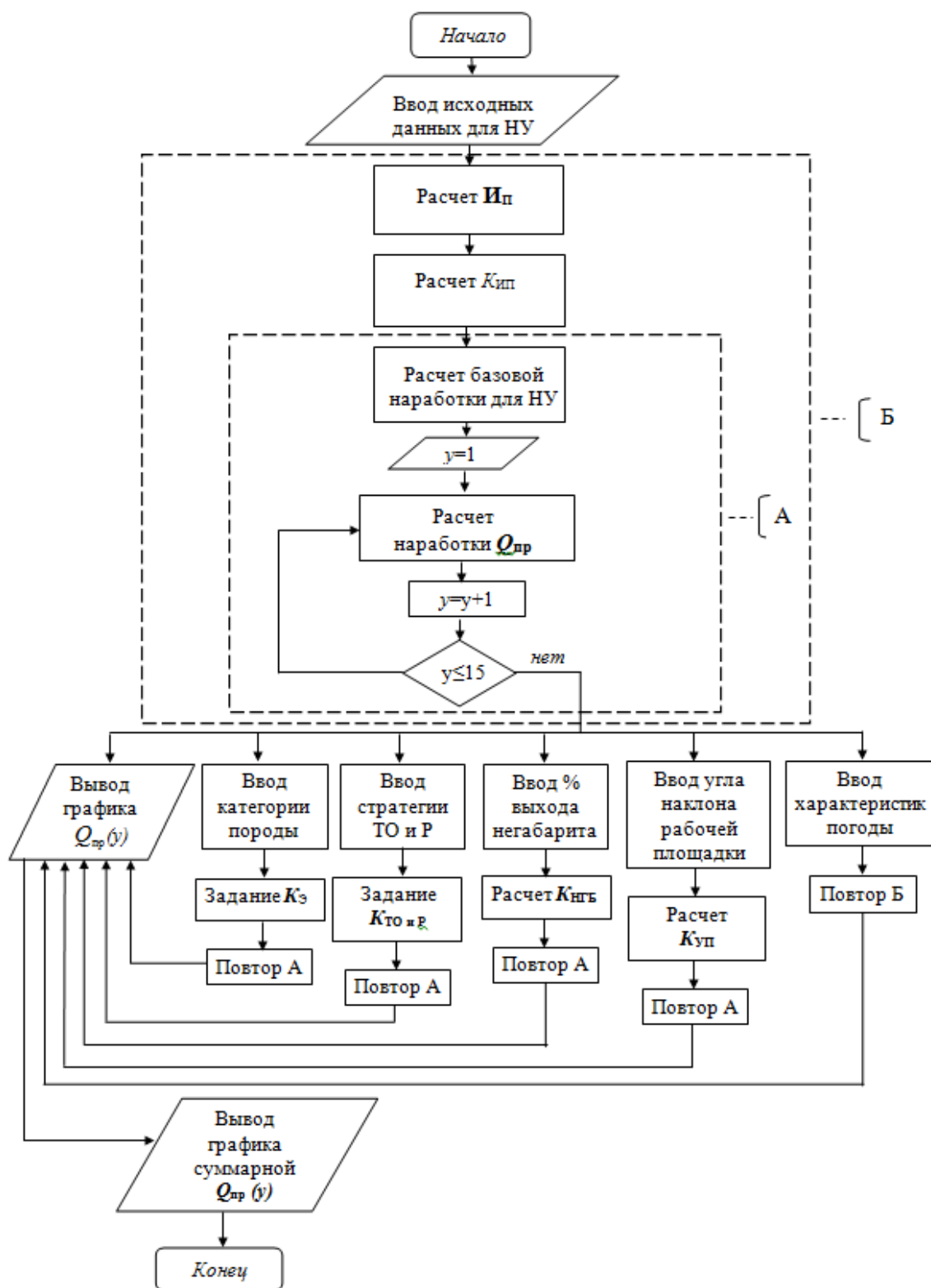


Рисунок 9 – Структура информационной модели комплексной оценки технического состояния и остаточного ресурса электрического карьерного экскаватора от воздействия факторов природно-техногенного характера