

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№2 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BGQF2124>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шеръязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BGQF2151>

***А. Солтан¹, Б. Копжасаров², К. Қуанышбекқызы³,
М. Кылышканов⁴, С. Михальченко⁵**

^{1,2,3}Восточно-Казахстанский Технический Университет
имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

⁴Научный центр АО Ульбинский металлургический завод,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

⁵Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, Российская Федерация, г. Томск.

¹ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1803-5506>

²ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3404-7803>

³ORCID:<https://orcid.org/0009-0003-7847-2710>

⁴ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-8304-7124>

⁵ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-0052-0298>

*e-mail: asoltan@ektu.kz

ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА РУДОПОТОКА В СРЕДЕ СЛАБОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Целью работы является организационно-технологическая оптимизация системы дистанционного контроля качества рудопотока по технико-экономическим критериям. Рудопоток в среде цифровой трансформации горно-промышленной отрасли рассматривается как система, где одной из основных функций управления является контроль. Ключевое значение функция контроля в управлении качеством рудопотока приобретает в оценке качества руды на этапе технологической подготовки рудного материала, где формируется однородность рудного массива по содержанию железа из разнородных месторождений. Системная технологическая новизна, которая представлена в статье, состоит в реализации постоянного дистанционного мониторинга качества рудного материала. Дистанционный мониторинг технически реализован на использовании беспилотных средств с последующей цифровой обработкой информации бортовой микропроцессорной техникой и специального математического и программного обеспечения.

Реализация подобной концепции предусматривает решение следующих задач: разработка структурно-функциональной модели контроля качества рудопотока; разработка математического обеспечения цифровой системы обработки данных измерения магнитного поля рудного материала, с функционалом оптимизации метрологических показателей измерительного тракта системы контроля. Критериями квалиметрии функционального качества системы управления качеством рудопотока предлагается использовать риски контроля. Найдена эмпирическая функция связи стоимости магнитометрического дистанционного контроля содержания железа и вероятных рисков контроля. Построена 3D модель зависимости стоимости магнитометрического контроля содержания железа в функции точности и величины нормативов содержания железа в руде.

Ключевые слова: рудопоток, мониторинг, система, риски, квалиметрия, модель, имитационный.

Введение

Целью работы является организационно-технологическая оптимизация системы дистанционного контроля качества рудопотока по технико-экономическим критериям. В предлагаемом исследовании решаются две контекстные научно-практические задачи: разработка структурно-технологической модели дистанционного контроля качества руды, и формализация процесса количественного оценивания рисков контроля и принятия решений в условиях параметрической нечеткости агентов управления и статистической неопределенности технологических данных.

Одно из условий эффективного управления сложными стохастически-программируемыми системами является своевременное получение информации о состоянии управляемой системы, мониторинг и контроль ее состояния по ключевым показателям работоспособности. Традиционно мониторинг строился на базе статистического анализа и регрессионных моделей, в которых отображалось только прошлое (историческое) состояние исследуемой среды, и предпочтение отдавалось линейным решениям. Подобный мониторинг назывался пассивным. Реализация простых линейных решений мониторинга на базе аналитики исторических данных не обеспечивает нормируемого качества управления, особенно при высокой динамике контролируемых процессов. Линейные подходы в настоящее время считаются почти главными факторами неадекватности научных подходов реализам в экономике прошлых лет. Один из вариантов

частичного решения проблемы состоит в опережающем прогнозировании динамики управляемой системы [1]. Среди предлагаемых подходов принято выделять две основные группы методов получения прогнозных оценок: интуитивные, имеющие дело с субъективными суждениями и формальные методы, использующие расчётные методики и математические модели. Данные методы реализуются через применение различного математического аппарата: от методов экспертных оценок для интуитивных методов до сложных математических моделей, реализуемых в фактографических подходах. Задача активного мониторинга, как показывает анализ содержания данной проблемы, может решаться только с применением аппарата математического моделирования на базе моделирования временных рядов в контексте предметной области. Активный мониторинг опирается в первую очередь на оперативную информацию, в составе которой находятся большие массивы динамично меняющихся данных. Из анализа структуры больших данных и требований по оперативности прогноза следует решение о нецелесообразности использования временных рядов для активного мониторинга в существующих условиях.

В работе [2] исследуются возможности прогнозирования процессов системной динамики на платформе «слабого искусственного интеллекта». Под понятием «слабый интеллект» еще в 1950 году А. Тьюринг, а затем Д. Серль предлагали рассматривать способность на компьютерах решать информационные задачи, а «сильный интеллект» не только оперирует информацией, но в определенной мере ищет ее смысловое содержание [3]. В классической и современной науке управления считается, что система управления базируется на четырех функциях: организации, планирования, мотивации и контроля [4; 5; 6; 7]. Контроль в разной степени присутствует во всех функциях управления, но часто выделяется как отдельный организационный или технологический системный агент [8].

Процесс контроля операций организационно-технической системы выполняются в следующей последовательности: измерение; сравнение измеренной величины с нормативом; анализ результата; принятие решения [9]. Основное внимание в данной работе сосредоточено на количественной оценке ошибок контроля (рисков контроля), которые являются функциями статистических свойств и характеристик агентов системы управления. Под статистическими свойствами понимаются законы распределения [10]. В большинстве работ исследовались три закона: нормальный закон распределения случайной величины (закон Гаусса), закон Вейбулла, равновероятный закон [11;12]. В работе [13] исследовалось влияние формы статистических законов распределения контролируемых параметров на вероятные ошибки (риски)

контроля. При этом во всех исследованиях предлагаются различные начальные ограничения, гипотезы и статистические условия.

Анализ природы рисков в среде параметрической нечеткости и неопределенности данных показал, что риск представляет некоторое виртуальное пространство или явление дополненной реальности [14]. В настоящее время риск является неотъемлемой частью «цифровой» жизни человека и присутствует в виртуальной и реальной формах бытия, в значительной мере определяя «качество жизни» на всех этапах «жизненного цикла» объекта.

Одна из рабочих и доминирующих гипотез, предлагаемая в настоящем исследовании опирается на парадигму, состоящую в том, что качество принятия решений является системной конвергенцией разнородных технологических агентов, где решающую роль играет система контроля, которая завершает практически каждое управленческое решение.

В данной работе основное внимание сосредоточено на функции цифрового дистанционного контроля качества рудопотока. Качество рудопотока рассматривается как динамическая система, которая в течении меняет свои свойства измеряемые содержанием железа. Структурно-функциональная модель системного цифрового обеспечения процесса контроля содержит следующие составляющие: техническое обеспечение; математическое обеспечение, программное обеспечение, информационное обеспечение, метрологическое обеспечение, организационно-методическое обеспечение.

В статье рассматривается технология дистанционного контроля качества железной руды. Качество руды в данной статье оценивается процентным содержанием железа в тонне рудного материала. В реальной производственной практике массив рудного контролируемого материала распределен на твердой основе в форме прямоугольного рудного тела размером 100х900м. под открытым небом. Этот массив называется «рудный двор». Измерение уровня железа в рудном материале осуществляется магнитометрами по контролируемой величине напряженности магнитного поля с технологическим шагом 10м. по всей площади «рудного двора». Оценкой качества рудного материала традиционно является среднее значение напряженности магнитного поля в точечных координатах измерения Y_{ij} по всей площади рудной массы на рудном дворе. Контрольно-измерительные операции сопровождаются ошибками контроля, которые называются рисками и дифференцируются по экономическому содержанию на «риск производителя» и «риск потребителя». В настоящее время необходимость оценки риска в любой проектной и производственной деятельности регламентируется версией стандарта ISO 2015, где внесено специальное

дополнение – ИЕС 31010 «Риск-менеджмент»[15]. Главным отличием этого дополнения к стандарту по сравнению с предшествующими версиями ISO является то, что «риски больше не присутствуют в стандарте скрыто, теперь оценка риска встроена в систему управления и становится ее неотъемлемым свойством». Проблема количественного оценивания указанных рисков на практике состоит в том, что отсутствует возможность инструментального измерения этих рисков или методом статистической обработки, а только формальными математическими и имитационными инструментами.

Материалы и методы

Нормативно-методологическое обеспечение исследования базируется на системном подходе. В данной интерпретации система рассматривается, как интегрированная совокупность управляющих цифровых агентов многопараметрической технико-экономической среды. Ключевым агентом в управлении качеством исследуемого объекта – рудопотока рассматривается процесс контроля и риски регламентируемые стандартом ИЕС 31010. Для оптимального решения проблемы используется формальные методы описания производственно-технологических процессов в среде цифровой трансформации управления. Формализация решаемых задач опирается на следующие математические инструменты: вероятностные и имитационные модели, нечеткие множества, агентные подходы, экспертные оценки. Для проведения компьютерного эксперимента используется программное приложение, разработанное в предыдущих исследованиях. Статистические данные для моделирования использованы из отчетных документов отраслевых предприятий. Для исследования статистического материала на однородность использовались F- критерий Фишера и t-критерий Стьюдента. Для обработки результатов статистических исследований использовался пакет Statistica 10.

Результаты и обсуждения

Для достижения цели в предлагаемом разделе исследования решаются следующие задачи: разработка организационно - технологической модели дистанционного контроля качества рудной массы; оптимизация технико-экономических показателей агентов дистанционного контроля качества руды; разработка формальной модели количественного оценивания рисков контроля в системе управления качеством рудопотока.

Реальная физическая модель распределения пространственной концентрации железа на площади рудного двора имеет случайную природу. Производить непосредственные контрольно-измерительные операции в различных точках площади «рудного двора» размером 100х900м. технически и технологически в реальной обстановке не представляется возможным.

Поэтому в данном исследовании предлагается использовать беспилотные летательные аппараты, оснащенные необходимой сенсорикой, техническими средствами управления и связи со стационарным локальным центром обработки текущей бортовой информации (ЦОД) (рис.1). Количество контрольных точек измеряется отношением S/Δ , где: $S=L*M$; L -длина рудного двора; M -ширина рудного двора, S -площадь рудного двора, Δ - расстояние между контрольными точками.

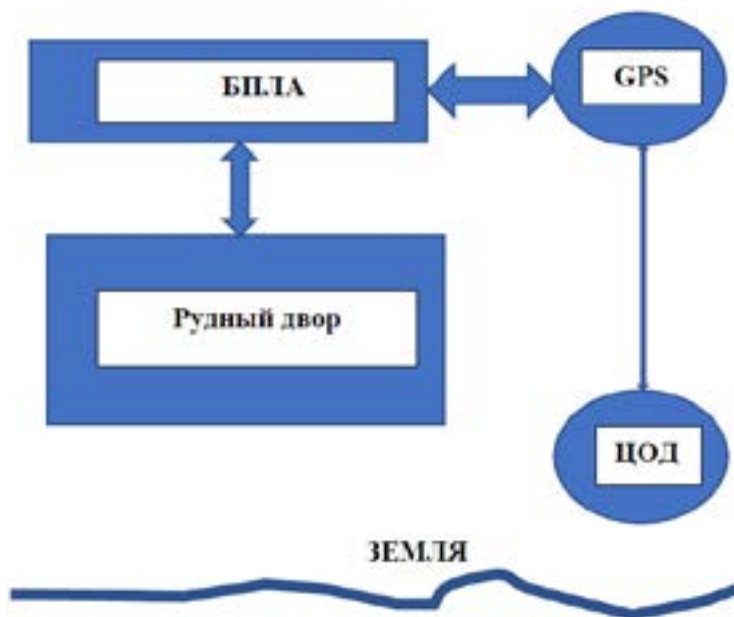


Рисунок 1 – Функционально-технологическая модель системы дистанционного мониторинга качества железной руды

Использование беспилотного аппарата существенно упрощает контрольно-измерительные операции, повышает технологичность контроля, но увеличивает стоимость проекта [16;17]. Предлагаемая технологическая модель трансформирует непрерывное магнитное поле рудного двора в цифровой контролируемый эквивалент. Каждый элемент информационного массива содержит результат измерения отдельного цифрового эквивалента значений магнитного поля N_{ijv} некоторой координате x_{ij} поверхности рудного двора.

Один из трудоемких технологических переделов в металлургии состоит в усреднении руд [18]. Усреднение представляется крайне необходимым технологическим переделом в связи с тем, что руда из разных месторождений является многокомпонентной и разносортной минеральной структурой. Технологические регламенты на плавку руды ориентированы на продукт с определенным допусковым процентным содержанием полезного компонента, например железа, в диапазоне от $F_{\min}$ до $F_{\max}$, что соответствует значению магнитного поля в диапазоне $H_{\min}$ – $H_{\max}$. Транспортируемая с рудников руда выгружается на «рудный двор» слоями и штабелями в определенном порядке. Забор руды осуществляется экскаватором поперек слоев, чтобы одновременно грейфер захватывал как можно больше слоев, и уже на этом технологическом этапе происходит усреднение отгружаемой с рудного двора руды. В среднем емкость штабеля составляет 100 тыс. т., и число слоев в пределах 300-1000. При этом осуществляется контроль магнитного поля $H(x,y)$ по всей площади с определенным метрическим шагом $\Delta x; \Delta y$. Двумерная адресная точка $H(i,j)$ является пространственной координатой виртуальной площади размером L . Количество информационных адресов определяется техническими и технологическими возможностями магнитометра и БПЛА. Точность контроля определяется метрологическими показателями системы дистанционного контроля, куда входит также точность позиционирования БПЛА и вариабельность контролируемого параметра. Качество однородности контролируемой рудной среды в рабочем режиме оценивается оперативно в круглосуточном режиме по установленному технологическому регламенту с заданными временными интервалами между сеансами контроля.

Как выше отмечалось, в большинстве работ рассматриваются варианты моделирования, где считалось, что нормативы являются детерминированными величинами. Практика показывает, что эта гипотеза упрощает ситуацию, что приводит к существенным методическим ошибкам. Рассматривая систему контроля как «черный ящик», нормативы следует считать одной из составляющей этой прецедентной системы, обладающей высокой степенью неопределенности. Статистическая природа нормативов, как объективный факт, рассматривалась во многих работах. В качестве погрешности измерения в данных работах предлагается использовать величину неопределенности, которая количественно оценивается средним квадратическим отклонением [19;20]. Неопределенность среди ключевых факторов появления рисков контроля и принятия решений в системе прецедентного управления следует рассматривать, как явление и как следствие неполноты знаний об изучаемой теме, т.е. как фактор «черного ящика»,

фактора воздействий окружающей среды, нечеткого или неадекватного понимания целей. В технической области присутствует своя специфика и традиции, в которых приоритет отдается инструментальной метрологии, и в первую очередь, погрешностям измерения в системе контроля.

В предлагаемом исследовании приоритет в системе управления качеством рудопотока также отдается неопределенности нормативов, которые рассматриваются в формальных моделях как случайные величины, имеющие различные законы распределения. Возможные риски управления изучаются на предпроектных этапах, и в дальнейшем по мере необходимости на некоторых этапах жизненного цикла. Как правило, исследование рисков осуществляется во многих практиках на качественном уровне. Вместе с тем, в производственной реальности экономические и прочие прогнозируемые потери имеют практическую ценность только при их количественном измерении.

Из всего приведенного теоретического и практического материала, применительно к исследуемой предметной области, возникает необходимость и задача количественного оценивания влияния статистической природы поля допуска на качество контроля, и как следствие на качество системы управления рудопотоком. Не приводя промежуточных выводов, вероятное количество объектов, ошибочно забракованных из всей выборки N , выразится следующей формулой [16]

$$N_{\text{ЛБ}} = \sum_{i=0}^m N \int_{L_i}^{H_i} \theta(Bn) dBn \left[\sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{B_j}^{L_j} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{H_j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right]. \quad (1)$$

Вероятное количество результатов необнаруженного брака будет:

$$N_{\text{НБ}} = \sum_{i=0}^m N \int_{L_i}^{H_i} \theta(B) dB \left[\sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{B_j}^{L_j} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{H_j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right]. \quad (2)$$

где функция плотности распределения нормативного значения контролируемого параметра B имеет следующую вид и параметры:

$$\theta(Bn) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma n} e^{-\frac{(Bn - S_{Bn})^2}{\sigma^2 n}}$$

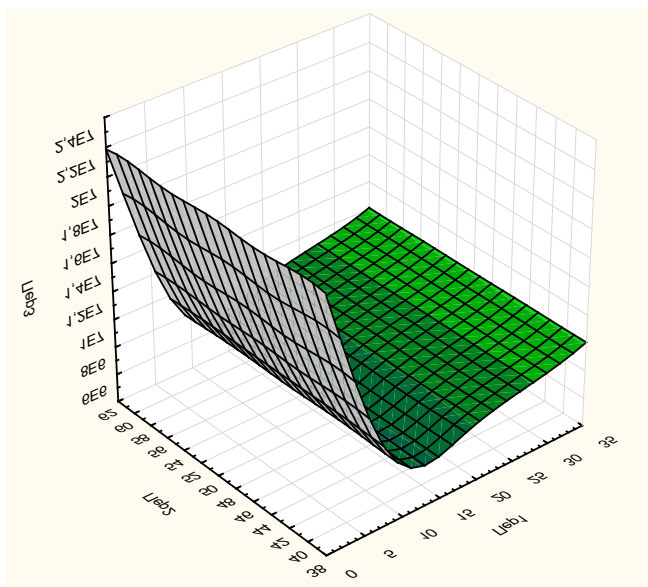
- B_n – среднеквадратическое отклонение функции плотности распределения нормативного значения контролируемого параметра B ;
- S_{Bn} – среднее арифметическое значение нижнего норматива контролируемого параметра B .

Выражения (1-2), представленные в подобном вероятностном виде, имеют крайне сложную аналитическую структуру, что при численной

компьютерной реализации приведет к очень высокой методической погрешности. Поэтому в задачах данной предметной тематики доказательно рекомендуется использовать имитационное моделирование. С учетом этого, в настоящем исследовании разработана имитационная модель, которая впоследствии была реализована в программном тексте.

Компьютерное моделирование.

Для компьютерного моделирования с целью получения расчетных значений риска для потребителя руды, было использовано программное приложение расчета, которое делает возможным расчет вероятных рисков контроля Рнб, при недетерминированных нормативах. Для визуализации процесса анализа данных моделирования, используя выражение 3 была построена 3D модель суммарных затрат в системе контроля качества рудопотока на примере риска Рнб. Результаты 3D моделирования представлены на рисунке 2.

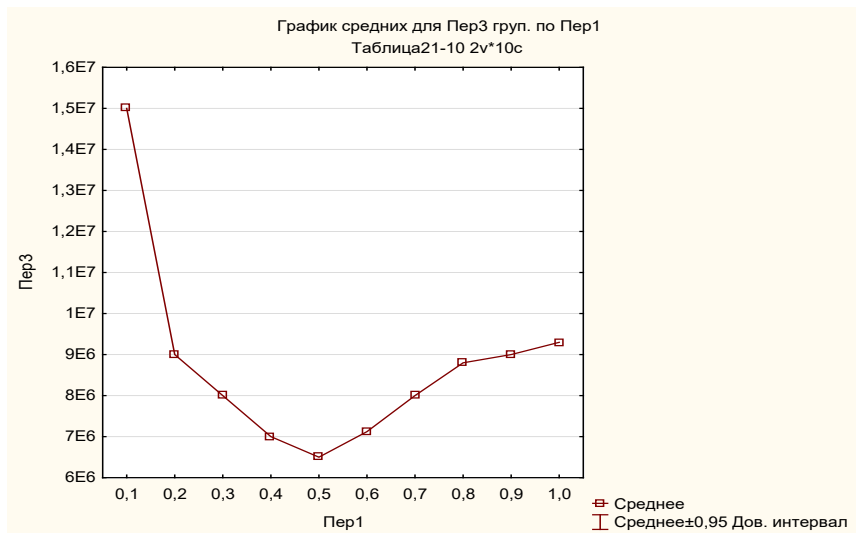


Пер3 – суммарные затраты в функции точности контроля и величины нормативов; Пер2 величина нормативов; Пер1 – неопределенность (точность) контроля.

Рисунок 2 – Результаты 3D моделирования суммарных затрат в системе контроля качества рудопотока

Как следует из рисунка 2 трехмерная поверхность суммарных затрат Пер3 в системе управления рисками и контроля качества рудопотока демонстрирует явно выраженную область минимума, которая соответствует нормативу содержания железа в рудном материале равном 40 %.

На рисунке 3 иллюстрируется графическая 2D модель оценки денежных потерь потребителя руды в функции ошибок контроля (риск потребителя) при нормативе 40 %.



Пер3 финансовые потери, обусловленные вероятным риском Рнб, в функции относительной неопределенности контроля σ/H_{cp} (Пер1) для норматива 40 %.

Рисунок 3 – Графическая 2D модель оценки денежных потерь потребителя руды в функции ошибок контроля (риск потребителя)

Как следует из рисунка 3 минимум суммарных потерь в системе управления качеством рудопотока в функции точности контроля содержания железа в рудном материале соответствует отношению $\sigma/H_{cp} = 0.5$. Здесь σ есть среднее квадратическое отклонение погрешности измерения содержания железа в рудном материале, а H_{cp} среднее значение напряженности контролируемого магнитного поля рудного материала с нормативом 40 %.

Информация о финансировании

Выражаю благодарность ТОО «DasAmi Inc.» за финансовую поддержку основной научной работы.

Выводы

По результатам моделирования было установлено, что система управления качеством рудопотока является многофакторным процессом, в котором ключевой функцией является контроль. Суммарные затраты на обеспечение эффективного цифрового контроля содержат: приобретение и обслуживание инструментальных средств измерения; потерь в функции качества контроля, оцениваемых рисками контроля. Суммарные затраты на обеспечение эффективного цифрового контроля имеют тесную корреляционную связь с контрольно-измерительными рисками, определяющими экономические потери в системе управления рудопотоком. Адекватная оценка и прогнозирование рисков, а также экономических последствий контроля возможна путем математического моделирования на базе данных экспериментально-статистических исследований.

В результате экспериментальных исследований и компьютерного моделирования было выявлено оптимальное соотношение стоимости контрольно-измерительного оборудования, зависящего от метрологических показателей, нормативных регламентов на исходный рудный материал и статистических свойств контролируемого рудного материала.

В условиях конкуренции, развитых межкорпоративных и международных связей и ряда других факторов объективная количественная оценка экономической эффективности новых инновационных проектов на практике представляется возможной при формализованном количественном расчете суммарных затрат и потерь в функции точности контроля и принятия решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Тиханычев, О. В.** Активный мониторинг как основа эффективного управления распределёнными системами // Современная техника и технологии. – 2016. – № 2. [Электронный ресурс]. – URL: <https://technology.snauka.ru/2016/02/9320> (Дата обращения: 28.04.2025).

2 **Макоско, А. А., Абросимов, В. К.** О прогнозировании развития науки как задаче слабого искусственного интеллекта (концептуальный подход). – М. : Инновации № 9, 2018. – (239).

3 **Голубков, Е. П.** Технология принятия управленческих решений. – М. : 2005. – 544 с.

4 **Whitmore, A., Agarwal, A., Xu, L. D.** The Internet of Things –A survey of topics and trends // Information Systems Frontiers. – 2014. – Vol. 17. – No. 2. P. 261–274.

5 **Mathews, N., Lyhne Christensen, A., O’Grady, R., Mondada, F., Dorigo, M.** Mergeable nervous systems for robots // Nature Communications. – 2017. – Vol. 8. – Article number : 439.

6 **Endsley, M. R.** Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. – 2015. – 9 (1): pp. 4–32.

7 **Биктимиров, М. Р., Глебский, В. Л., Долгов, Б. В., Поликарпов, С. А..** Использование информационных технологий и инфраструктур для агрегации научной информации. Опыт Канады, Нидерландов, Германии//Моделирование и анализ информационных систем. – 2015. – т. 22. – № 1. – с. 114–126.

8 **Друкер, П.** Эффективное управление–М. : ФАИР-ПРЕСС, 2002.–288 с.

9 **Корнев, В. А., Макенов, А. А.** Современные методы моделирования процессов принятия решений в системах управления. – Усть-Каменогорск : Издательство ВКГУ им. С. Аманжолова, 2008.–148 с.

10 **Кулешов, В. К., Корнев, В. А.** Моделирование процессов контроля и принятия решений: монография / В. К., Кулешов, В.А. Корнев; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011.–295 с.

11 **Бекенов, Т. Н., Корнев, В. А., Машекенова, А. Х.** Система управления качеством бизнес-процессов производства и эксплуатации сложных технических систем. – Усть-Каменогорск : Издательство «Шыгыс апарат», 2010.– 204 с.

12 **Раджабов, Р.К.** Моделирование микроэкономики: – Душанбе : «Ирфон», 2017. – ISBN 978-99975-0-740-2. – с. 16–31.

13. **Alibekkyzy, K., Wojcik, W., Vyacheslav, K., Belginova, S.** Robust data transfer paradigm based on VLC technologies // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2021 Little Lion Scientific. – 15th February 2021. – Vol. 99. – No 3.

14 **Ардашкин, И. Б.** Smart-общество как этап развития новых технологий для общества или как новый этап социального развития (прогресса): к постановке проблемы // Вестник Томского государственного университета. Философия, Социология, Политология. – 2017. – № 38. – с.32–45.

15 IEC 31010, Risk management – Risk assessment techniques.

16 **Yesmagambetova, M., Keribayeva, T., Koshekov, K., Belginova, S., Alibekkyzy, K., Ospanov, Ye.** «Smart technologies of the risk-management and decision-making systems in a fuzzy data environment» Indonesian Journal

of Electrical Engineering and Computer Science. – Vol. 28. –No. 3, December 2022 – ISSN: 2502-4752 – <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1-1x>.

17 **Морозова, О. В., Романова, Е. В., Корнев, В. А.** Моделирование бизнес-процессов сложных организационно-технических систем: монография. – М. : Изд-во МЭСИ, 2015.

18 Подготовка руды к плавке. otherreferats.allbest.ru/manufacture/00056002_...

19 EUROCHEM/CITAC Guide «Quantifying Uncertainty in Analytical Measurements», Second Ed., 2000. – 141 p.

20 Руководство по выражению неопределённости измерения ВНИИМ имени Д. И. Менделеева, С.–Петербург, 1999. – 134 с.

REFERENCES

1 **Tixany`chev, O.V.** Aktivny`j monitoring kak osnova e`ffektivnogo upravleniya raspredelyonny`mi sistemami // *Sovremennaya texnika i tehnologii* [Active monitoring as the basis for effective management of distributed systems // *Modern Engineering and Technology*]. – 2016. – No. 2 [Electronic resource]. – URL: <https://technology.snauka.ru/2016/02/9320> (Accessed date: 28.04.2025).

2 **Makosko, A. A., Abrosimov, V. K.** Prognozirovani razvitiya nauki kak zadache slabogo iskusstvennogo intellekta (konceptual`ny`j podxod) [On predicting scientific development as a task for weak artificial intelligence (conceptual approach)]. – М. : Innovations No. 9. – (239). – 2018.

3 **Golubkov, E. P.** *Texnologiya prinyatiya upravlencheskix reshenij* [Management Decision-Making Technology]. – Moscow: 2005. – 544 p.

4 **Whitmore, A., Agarwal, A., Xu, L. D.** The Internet of Things – A survey of topics and trends // *Information Systems Frontiers*. – 2014. – Vol. 17. – No. 2. – P. 261–274.

5 **Mathews, N., Lyhne Christensen, A., O`Grady, R., Mondada, F., Dorigo, M.** Mergeable nervous systems for robots // *Nature Communications*. – 2017. – Vol. 8. – Article number: 439.

6 **Endsley, M. R.** Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings // *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*. – 2015. – 9 (1): P. 4–32.

7 **Biktimirov, M. R., Glebskij, V. L., Dolgov, B. V., Polikarpov, S. A.** Ispol`zovanie informacionny`x tehnologij i infrastruktur dlya agregacii nauchnoj informacii. Opy`t Kanady`, Niderlandov, Germanii // *Modelirovanie i analiz informacionny`x system* [The use of information technologies and infrastructures for the aggregation of scientific information. Experience of Canada, the Netherlands, and Germany // *Modelling and Analysis of Information Systems*]. – 2015. – Vol. 22. – No. 1. – P. 114–126.

8 **Druker, P.** Effektivnoe upravlenie [Effective Management]– М. : FAIR-PRESS, 2002. – 288 p.

9 **Kornev, V. A., Makenov, A. A.** Sovremennyy'e metody` modelirovaniya prolcссов prinyatiya reshenij v sistemax upravleniya [Modern methods of modelling decision-making processes in management systems]. – Ust-K. : S. Amanzholov East Kazakhstan State University Publishing House, 2008. –148 P.

10 **Kuleshov, V. K., Kornev, V. A.** Modelirovanie processov kontrolya i prinyatiya reshenij [Modelling of control and decision-making processes]: monograph/ V.K. Kuleshov, V.A. Kornev; Tomsk Polytechnic University. – Т. : Tomsk Polytechnic University Press, 2011. – 295 P.

11 **Bekenov T. N., Kornev, V. A., Mashekenova, A. X.** Sistema upravleniya kachestvom biznes-processov proizvodstva i e`kspluatacii slozhny`x texnicheskix sistem [Quality management system for business processes in the production and operation of complex technical systems]. – Ust-K. : Shygys Akparat Publishing House, 2010. – 204 P.

12 **Radzhabov, R. K.** Modelirovanie mikroek`onomiki [Microeconomic Modelling]: Dushanbe: Irfon, 2017. – ISBN 978-99975-0-740-2. P. 16–31]

13 **Alibekkyzy, K., Wojcik, W., Vyacheslav, K., Belginova, S.** Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2021 Little Lion Scientific. –15th February 2021. – Vol.99. – No 3.

14 **Ardashkin, I. B.** Smart-obshhestvo kak e`tap razvitiya novy`x texnologij dlya obshhestva ili kak novy`j e`tap social`nogo razvitiya (progressa): k postanovke problemy` [Smart society as a stage in the development of new technologies for society or as a new stage in social development (progress): setting the problem] // Bulletin of Tomsk State University. Philosophy, Sociology, Political Science. – 2017. – No. 38. – P. 32–45.

15 IEC 31010, Risk management – Risk assessment techniques.

16 **Yesmagambetova, M., Keribayeva, T., Koshekov, K., Belginova, S., Alibekkyzy, K., Ospanov, Ye.** Smart technologies of the risk-management and decision-making systems in a fuzzy data environment // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – Vol. 28. – No. 3. – December 2022 // ISSN: 2502-4752 – <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1-1x>.

17 **Morozova, O. V., Romanova, E. V., Kornev, V. A.** Modelirovanie biznes-processov slozhny`x organizacionno-texnicheskix system [Modelling business processes of complex organizational and technical systems]: monograph. – М. : MESI Publishing House, 2015.

18 Podgotovka rudy` k plavke [Preparation of ore for smelting]. otherreferats.allbest.ru» manufacture/00056002_...

19 EUROCHEM/CITAC Guide “Quantifying Uncertainty in Analytical Measurements”, Second Ed., 2000. – 141 p.

20 Rukovodstvo po vy`razheniyu neopredelyonnosti izmereniya [Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement] All-Russian Research Institute of Metrology named after D.I. Mendeleev, St. Petersburg, 1999. – 134 p.

Поступило в редакцию 12.05.25.

Поступило с исправлениями 28.01.26.

Принято в печать 03.06.26.

*А. Солтан¹, Б. Копжасаров², К. Қуанышбекқызы³,

М. Кылышканов⁴, С. Михальченко⁵

^{1,2,3}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

⁴«Үлбі металлургия зауыты» ғылыми орталығы,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

⁵Томск мемлекеттік басқару және радиоэлектроника жүйелері
университеті, Ресей Федерациясы, Томск қ.

12.05.25 ж. баспаға түсті.

28.01.26 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ӘЛСІЗ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ОРТАСЫНДАҒЫ КЕН АҒЫНЫНЫҢ САПАСЫН ОЗЫҢҚЫ БАҚЫЛАУДЫҢ ЦИФРЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

Жұмыстың мақсаты техникалық-экономикалық критерийлер бойынша кен ағынының сапасын қашықтықтан бақылау жүйесін ұйымдастырушылық-технологиялық оңтайландыру болып табылады. Тау-кен өнеркәсібінің цифрлық трансформациясы ортасындағы кен ағыны басқарудың негізгі функцияларының бірі бақылау болып табылатын жүйе ретінде қарастырылады. Кен ағынының сапасын басқарудағы бақылау функциясы кенді материалды технологиялық дайындау кезеңінде кенді сапаны бағалауда шешуші мәнге ие болады, мұнда әр түрлі кен орындарынан темір құрамы бойынша кенді массивтің біртектілігі қалыптасады. Мақалада келтірілген жүйелік технологиялық жаңалық кен материалының сапасына тұрақты қашықтықтан мониторингті жүзеге асырудан тұрады. Қашықтықтан мониторинг кейіннен борттық микропроцессорлық

техникамен және арнайы математикалық және бағдарламалық қамтамасыз етумен ақпаратты цифрлық өңдеумен пилотсыз құралдарды пайдалануда техникалық іске асырылды. Осындай тұжырымдаманы іске асыру мынадай міндеттерді шешуді көздейді: кен ағынының сапасын бақылаудың құрылымдық-функционалдық моделін әзірлеу; кен материалының магнит өрісін өлшеу деректерін өңдеудің цифрлық жүйесін математикалық қамтамасыз етуді әзірлеу, бақылау жүйесінің өлшеу кешенінің метрологиялық көрсеткіштерін оңтайландыру. Кен ағынының сапасын басқару жүйесінің функционалдық сапасының квалиметрия өлшемдерімен бақылау тәуекелдерін пайдалану ұсынылады. Темір құрамын магнитометриялық қашықтан бақылау құны мен бақылаудың ықтимал тәуекелдерінің эмпирикалық байланыс функциясы табылды. Темір құрамының магнитометриялық бақылауының құнына тәуелділіктің 3D моделі кендегі темір құрамының нормативтерінің дәлдігі мен шамасы функциясында құрылған.

Кілтті сөздер: кен ағыны, мониторинг, жүйе, тәуекелдер, квалиметрия, модель, имитациялық.

**A.Soltan¹, B. Kopzhassarov², K. Kuanyshbekkyzy³,
M. Kylyshkanov⁴, S. Mikhachenko⁵*

^{1,2,3}East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

⁴Scientific Centre of “Ulba Metallurgical Plant” JSC,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

⁵Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
Russian Federation, Tomsk.

Received 12.05.25.

Received in revised form 28.01.26.

Accepted for publication 03.06.26.

DIGITAL TOOLS FOR ADVANCED MONITORING OF ORE-STREAM QUALITY IN A WEAK ARTIFICIAL INTELLIGENCE ENVIRONMENT

The purpose of the work is organizational and technological optimization of the system of remote control of ore-stream quality according to technical and economic criteria. The ore-stream in the environment of digital transformation of the mining industry is seen as a system where one of the main functions of management is control. The key importance of the control function in ore-stream quality management becomes in ore quality assessment at the stage of ore material technological preparation, where the homogeneity of the ore massif in terms of iron content from heterogeneous deposits is formed. System technological novelty, which is presented in the paper, consists in realization of constant remote monitoring of ore material quality. Remote monitoring is technically realized on the use of unmanned vehicles with subsequent digital processing of information by onboard microprocessor technology and special mathematical and software. The implementation of such a concept provides for the solution of the following tasks: development of structural and functional model of ore-stream quality control; development of mathematical support for the digital system of data processing of ore material magnetic field measurement data, optimization of metrological indicators of the measuring complex of the control system. It is proposed to use control risks as criteria of qualimetry of functional quality of the ore-stream quality management system. An empirical function of the relationship between the cost of magneto metric remote control of iron content and the likely risks of control is found. A 3D model of the dependence of the cost of magneto metric control of iron content as a function of accuracy and the value of the norms of iron content in ore was built.

Keywords: ore-stream, monitoring, system, risks, qualimetry, model, simulation.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz