



УДК 519.2

МРНТИ 20.53.19

https://doi.org/10.53364/24138614_2025_37_2_17

А.К.Танкибаева^{1*}, С.К. Кумаргажанова¹, Б.Н. Азаматов¹, Ж.К. Азаматова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru*

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ КОНТРОЛЯ В СИСТЕМЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Аннотация. В статье поставлена цель повышения качества МРТ технологий. МРТ технология системно рассматривается в статье, как интегрированное киберпространство дополненной реальности, содержащее физически измеряемые показатели и вычисляемые виртуальные параметры-риски. Система МРТ в задачах исследования представляется композицией из вертикального вектора интеграции и горизонтального вектора. Вектор вертикальной интеграции, является системной иерархической межуровневой структурой организационно-техническим связующим звеном с нижним операционно-технологическим уровнем. Организационно - техническим критерием системного качества вертикального вектора предлагается использовать уровень цифровой зрелости, являющийся нечеткой композицией взвешенных агентов обеспечения: технического обеспечения; информационное аналитического обеспечения; математического обеспечения; метрологического обеспечения; кадрового обеспечения; программного обеспечения. Для количественного оценивания уровня цифровой зрелости разработаны модель и алгоритм на нечетких принципах. Горизонтальный операционно-технологический вектор агрегирует процедуры обязательного клиничко-лабораторного контроля и дополнительного контроля на базе рентгенографии и ультразвуковой диагностики. Рабочей технологией на нижнем системном уровне является МРТ диагностика. На этом уровне основное научно-практическое внимание сосредоточено на формализации процессов количественного оценивания операционных рисков контроля и принятия диагностических решений в условиях параметрической неопределенности агентов контроля. Для этой цели разработаны вероятностные, имитационные, статистические модели и экспертные подходы. Адекватность теоретических гипотез практическим результатам оценивается компьютерным моделированием, для чего разработаны программные приложения на языке Python.

Ключевые слова: МРТ технология, система, цифровая зрелость, нечеткость, моделирование, риски контроля.

Введение.

В республике Казахстан в 2017 году была разработана Государственная программы "Цифровой Казахстан" (№ 827), а в 2022 году была разработана новая Программа Цифровой трансформации (№ 311). Постановлением Правительства Республики Казахстан от 24 июля 2024 года № 592 постановляется и утверждается Концепция развития искусственного

интеллекта на 2024 – 2029 годы [1]. Согласно мировому рейтингу Казахстан находится на достаточно высоком уровне цифровизации, так по данным ООН Казахстан занимает 28 место по индексу «Развитие электронного правительства» и 8 место по индексу «Онлайн услуги».

Процессы и методы принятия решений в системах управления во многих случаях уже не поддаются традиционным программированным методам, так как в них начинают доминировать стохастическая динамика, нелинейность, и что особенно важно и характерно для медицины, «человеческий фактор». Наблюдается стремительное проникновение в медицину цифровых средств, моделей и подходов, которые еще мало изучены, и в своей системной композиции приводят к непрогнозируемым результатам.

В качестве цифровой революции в системе медицинской диагностики следует в первую очередь назвать использование таких технологий как компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), ультразвуковая диагностика [2,3,4]. Среди компьютерных диагностических феноменов, особое внимание как показывает литературный анализ, следует обратить на магнитно-резонансную томографию, которая наряду с многообещающими функциональными диагностическими результатами, является одним из самых безопасных и информативных технологий в медицинской практике. В предлагаемом предметном исследовании, магнитно-резонансная томография представляет научный интерес, в первую очередь, с информационно-технологических и метрологических позиций, а именно: изучение и обоснование информативно-целевых признаков в процессе их измерения и контроля, автоматизации информационно-диагностических процедур в использовании магнитно-резонансной томографии, оценки достоверности результатов инструментального контроля и принятия диагностических решений.

В публикациях, где оценивается результативность данного метода, отмечается «высокая точность диагностирования» благодаря высокой чувствительности и способности к детализации», вместе с тем, не приводятся количественные оценки этой точности, что характерно вообще для многих контрольно-измерительных операций в медицинской диагностической практике [5]. Глубокий анализ возможностей МРТ приведен в работах [6,7]. Цель данных исследований состояла в «изучение вариативности предоперационной МРТ коленного сустава и определение причин объективных и субъективных диагностических ошибок». Исследование проводилось в различных диагностических центрах, оснащенных разнообразными МР-томографами (с напряженностью магнитного поля 0,5-3,0 Тл), и различными по квалификации врачами-рентгенологами с опытом работы в рентгенологии не менее 5 лет. Обследованию было подвергнуто 203 пациента.

В работах [6,7] приводятся данные показывающие, что с началом применения МРТ точность выявления разрывов связок и менисков достигла более чем 90—95%. Выявление повреждений связок коленного сустава — одна из самых частых, но и наиболее сложных задач МРТ. Точность обследования методом МРТ может снижаться до 50—80% и в основном зависит от квалификации специалиста по лучевой диагностике. Поэтому, как показали литературные исследования, одним среди множества факторов в данной предметной области, которому можно придать решающее значение и препятствующего существенному повышению функциональной эффективности медицинской МРТ практики, являются высокая субъективность на этапах анализа цифровых изображений и принятия окончательного решения. Другим важным фактором методического характера следует считать дифференцированные подходы в управлении бизнес-процессами в этой отрасли в целом, и в отдельных технологиях, в частности.

Переход от цифровизации к цифровой трансформации обещает резко повысить общую и предметную результативность и качество приведенных технологий. Важное место в

повышении точности МРТ диагнозов отводится программному обеспечению, среди которого следует выделить DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) - стандарт обработки, хранения, передачи, печати и визуализации медицинских изображений [8]. DICOM стал на сегодняшний день стандартом и поддерживается всеми современными цифровыми устройствами: томографами, УЗИ-аппаратами, маммографами, рентгеновскими аппаратами и т.д.

Если сконцентрировать внимание на объектах здравоохранения, то внутри лечебно-диагностических процессов появляется множество явлений спонтанного происхождения, что ограничивает возможность моделирования и прогнозирования последствий подобных явлений. Таким образом, фактор случайности сводит к нулю результаты попыток внешнего регулирования и это надо принять как закономерность. «При объяснении возникающих динамических непонятных вещей существует гипотеза, что в подобных случаях действуют некие механизмы, являющиеся неотъемлемой частью эволюции системы. Из этого следует, «что существующие свойства и классические определения системы чрезмерно упрощают суть происходящих процессов».

Материалы и методы исследования.

Методология и методы исследования в предлагаемой статье базируется на следующих подходах и стандартах: системно-интегрированном подходе; лечебно-диагностических протоколах; платформе Индустрия 4.0; стандарте ISO 31000. Интегрирование определяет организационно-технологический уровень всей системы, и в условиях цифровой трансформации определяется критерием цифровой зрелости. Система представляется вертикальным вектором V, горизонтальным вектором L и дополненная реальность в формате риска, что моделируется формальным киберпространством [10]. Количественный показатель качества при данном подходе системно оценивается по каждому из векторов управления: вертикальному вектору управления, оцениваемому критерием цифровой зрелости; горизонтальному вектору, оцениваемому дифференцированно по каждому контрольно-измерительному процессу. На данном системно-технологическом уровне крайне важное значение приобретают риски контроля и принятия решений. Риски делятся на риски медицинского учреждения и риски пациента. Риск на современном уровне научно-технического познания и развития технологий, особенно в среде сложных стохастически-программируемых процессов рассматривается как внешняя субстанция. Количественная оценка рисков регламентируется стандартом ИСО 2015:31000 [9]. Риск не измеряется физически, но конвергирует исследуемый объект в систему дополненной реальности. Материально риск проявляется в социально-экономической среде в форме потерь и катастроф, как результат принятия решений [11,12,14]. Главная проблема при наличии рисков в системе управления любого уровня состоит в невозможности точного и адекватного прогнозирования результатов бизнес-деятельности в среде нестационарной системной динамики, куда следует отнести лечебно-диагностические процессы.

Результаты и их обсуждение.

Количественная оценка цифровой зрелости системы осуществляется по нейросетевому принципу, как взвешенная сумма агентов системного обеспечения: Y1 - техническое обеспечение; Y2 - информационное аналитическое обеспечение; Y3 - математическое обеспечение; Y4 - метрологическое обеспечение; Y5 - кадровое обеспечение; Y6 - программное обеспечение. Для последующих процедур моделирования необходимо оценить значимость (вес) приведенных системных агентов, для чего был использован экспертный подход. Результаты экспертизы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ранжирования системного обеспечения качества вертикального вектора управления

№ эксперта	Y _j					
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
1	0,25	0,214	0,357	0,178	0,357	0,357
2	0,241	0,172	0,310	0,275	0,310	0,310
3	0,235	0,264	0,294	0,205	0,294	0,294
4	0,205	0,235	0,264	0,294	0,264	0,264
5	0,2	0,3	0,266	0,233	0,266	0,266
Вес (m _i)	0,226	0,237	0,298	0,247	0,357	0,298

Примечание: * Вес (m_i) – суммарная количественная оценка «веса» агента Y₁.

В следующем этапе реализуется построение модели количественного оценивания системного качества вектора вертикального управления. Для этой цели использован математический раздел теории нечетких множеств [15]. В соответствии с методикой нечеткого подхода, процедурой фазификации каждый показатель, из множества [Y₁- Y₆] представляется лингвистической переменной на поле функций принадлежности Q_i(x). В статье выбрана треугольная форма функций принадлежности, которая определяется тройкой чисел (a, b, c). Для нахождения степени принадлежности Q_j необходимо решить систему:

$$Q(x) = 1-(b-x)/(b-a), a < x < b$$

$$Q(x) = 1-(x-c)/(c-b), b < x < c$$

$$Q(x) = 0 \text{ в остальных случаях.} \quad (1)$$

На рисунке 1 в качестве примера приведена лингвистическая переменная - Y₁ «Техническое обеспечение».

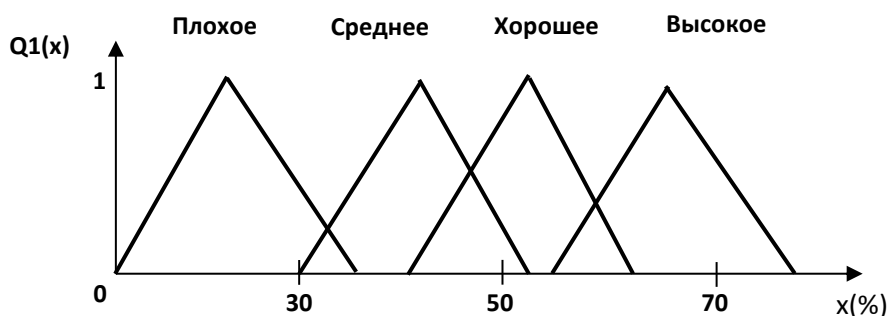


Рисунок 1 – Функции принадлежности (термы) лингвистической переменной Y₁ -«Техническое обеспечение»

«Вес» каждого терма соответствующей лингвистической переменной так же, как и «вес» лингвистической переменной, определены экспертным методом (таблица 2).

Следующим этапом находится количественная интегральная оценка качества организационно-технического обеспечения исследуемой системы. Показатель искомого качества - K_Σ находится по следующей формуле:

$$K_{\Sigma} = \frac{K_1*y_1+K_2*y_2+.....+K_k*y_k}{y_1+y_2+...+y_k}, \quad y_i = w_i* MFi(x_j) \quad (2)$$

где K_i – вес i – й лингвистической переменной; ω_{ij} – вес j – го терма i – й лингвистической переменной; $MFi(x_j)$ – значение (срез) функции принадлежности ij – го терма для x_i – значения i – й лингвистической переменной.

Алгоритм расчета работает с базой данных медицинского предприятия. Для проведения компьютерного эксперимента использовано специальное программное приложение.

Таблица 2 - Весомость лингвистической переменной (ЛП) и термов нечеткой модели

Лингвистические переменные (ЛП)	Вес ЛП ω_i	Вес термов			
		Ki1	Ki2	Ki3	Ki4
Техническое обеспечение	ω_1	0,053	0,088	0,229	0,306
Информационно-аналитическое обеспечение	ω_2	0,254	0,362	0,275	0,108
Математическое обеспечение	ω_3	0,060	0,096	0,205	0,310
Метрологическое обеспечение	ω_4	0,051	0,098	0,197	0,339
Кадровое обеспечение	ω_5	0,042	0,090	0,236	0,328
Программное обеспечение	ω_6	0,055	0,098	0,199	0,339

Расчетное численное значение $K\Sigma$, получаемое в относительной форме в пределах от нуля до единицы, не воспринимается лицом, принимающим решения (ЛПР) в описательной качественной форме. В подобных случаях относительную количественную информацию необходимо конвертировать в привычную для человека - качественную лингвистическую форму, при помощи функции желательности Харрингтона. Весь количественный диапазон $K\Sigma$ делится на следующие пять интервалов: 0-0.2; 0.2-0.37; 0.37-0.63; 0.63-0.8; 0.8-1.0. Каждому интервалу присваивается качественный «вес» в лингвистической интерпретации: «очень плохо»; «плохо»; «удовлетворительно»; «хорошо»; «очень хорошо». Эти оценки являются уровнями цифровой зрелости объекта. Результирующая оценка цифровой зрелости системы соответствует интервалу, в котором будет находиться количественное значение $K\Sigma$.

Для расчета рисков медицинского учреждения и пациента было использованы математические модели, рекомендуемые в монографии [16], имеющие следующий вид:

$$N_{лб} = \sum_{i=0}^m N \int_{L_i}^{H_i} \theta(S_n) dS_n \left[\sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\theta_i}^{\lambda_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right]$$

$$N_{нб} = \sum_{i=0}^m N \int_{L_i}^{H_i} \theta(S) dS \left[\sum_{j=0}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\theta_i}^{\lambda_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{3j}{k}}^3 e^{-\frac{z^2}{2}} dt \right]$$

В данных выражениях $\theta(S)$ является функцией плотности распределения нормативного значения. Для численного эксперимента было разработано программное приложение. Результаты эксперименты в графическом формате представлены на рисунке 2.

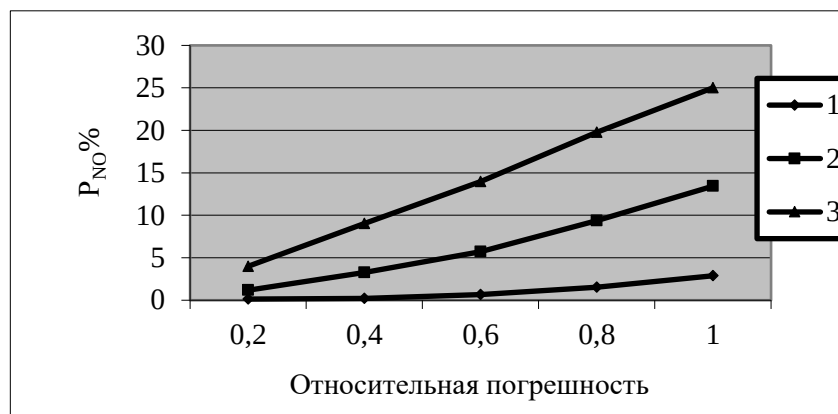


Рисунок 2 – Результат компьютерного моделирования для оценивания вероятности риска пациента - P_{NO}

Относительная погрешность выражается отношением неопределенности неопределенности средства измерения к неопределенности контролируемого параметра [13].

Заключение.

Цель исследований, предложенной публикации, состоит в повышении качества МРТ диагностики на примере заболеваний коленного сустава. На современном научно-техническом уровне развития систем управления сложными мультипараметрическими бизнес-процессами, принципы и практика дифференцированных моделей в форме цифровизации отдельных бизнес-процедур и операций окончательно замещается идеологией интегрированных подходов на базе технологий «цифровой трансформации». Качество МРТ технологии обеспечивается системной методологией, представляющей структурно-функциональную композицию из вертикального вектора интеграции и горизонтального вектора. Уровень качества вертикального вектора организационно-технологической интеграции предлагается оценивать цифровой зрелостью бизнес-процессов отдела лучевой диагностики, которая представляется сверткой системного обеспечения: технического обеспечения; информационного обеспечения; математического обеспечения; метрологического обеспечения; кадрового обеспечения; программного обеспечения. Для количественного оценивания уровня цифровой зрелости разработана модель на нечетких принципах. Горизонтальный уровень технологической интеграции содержит процедуры: предварительного клинико-лабораторного обследования; рентгенографию; ультразвуковую диагностику. Основной функциональной технологией горизонтального вектора в работе является МРТ диагностика. На этом уровне основное научно-практическое внимание сосредоточено на формализации процессов количественного оценивания операционных рисков контроля и принятия диагностических решений в условиях параметрической неопределенности агентов контроля. Для количественного оценивания и прогнозирования рисков инструментального контроля используется математическая модель и программное приложение. Результаты компьютерного эксперимента показали, что количественно риски зависят от статистических законов распределения контролируемого параметра и погрешности измерения, системной связи в виде отношения среднего квадратического отклонения случайной погрешности измерения к среднему квадратическому отклонению контролируемого параметра, положения нормативных значений контролируемого параметра на поле вероятных значений контролируемого параметра. При этом выявлено, что статистическая вероятность ошибок контроля (рисков) в меньшей степени зависит от неопределенности измерения, но в большей от соотношения среднего квадратического отклонения (неопределенности) инструментальных средств измерения к среднему квадратическому отклонению контролируемого параметра при заданных нормативах. Адекватность теоретических

гипотез практическим результатам оценивается компьютерным моделированием, для чего разработаны программные приложения на языке Python.

Список литературы

1. Концепция развития искусственного интеллекта. Постановление Правительства Республики Казахстан от 24 июля 2024 года № 592. [Электрон. ресурс]. – 2024. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000592>(дата обращения: 12.03.2025).
2. Леденев, В. Магнитно-резонансная томография (МРТ) коленного сустава [Электрон. ресурс]. – 2025. – <https://mrt-vmsk.ru/blog-chto-iz-sebya-predstavlyayet-mrt-kolennogo-sustava/>(дата обращения: 10.03.2025).
3. Клинический протокол диагностики и лечения закрытых повреждений коленного сустава // Министерства здравоохранения Республики Казахстан // Протокол № 10 от «4» июля 2014 года [Электрон. ресурс]. – 2024. – <https://diseases.medelement.com/disease/>(дата обращения: 25.01.2025).
4. Морозов, С.П., Терновой, С.К., Городниченко, А.И., Арцыбашева, М.В. & Филистеев, П.А. (2014). Магнитно-резонансная томография в диагностике повреждений и заболеваний коленного сустава. Кремлевская медицина. Клинический вестник. – Т.1. № 2. С.58-62.
5. Гайсин, Р.Р., Закиров, Р.Х., Зарипов, Р.А., Никифорова, А.В. & Саченков, О.А. (2013). Трехмерная реконструкция внутренних органов с одним характерным размером на основе компьютерной томографии. Практическая медицина. – Т.1. №1. С.22-24.
6. Materka, A. (2024). Texture analysis methodologies for magnetic resonance imaging. *Dialogues Clin Neurosci.* Jun;6(2):243-50
7. Расширенные возможности визуализации в МРТ [Электрон. ресурс]. – 2024. – <http://www3.gehealthcare.ru/>(дата обращения: 15.02.2025).
8. DICOM: цифровые снимки в медицине [Электрон. ресурс]. – 2022. – <https://habr.com/ru/articles/217761/>(дата обращения: 15.02.2025).
9. IEC 31010:2019. Risk management - Risk assessment techniques. [Электрон. ресурс]. – 2019. – <https://www.iso.org/standard/72140.html>(дата обращения: 25.02.2025).
10. Lux, T. E-Health – Begriff und Abgrenzung. In S. Müller-Mielitz & T. Lux (Eds.), *E-Health Ökonomie.* (2017). Wiesbaden: Springer Gabler; pp. 39-57.
11. Найт Ф. Понятия риска и неопределенности. (1994). Альманах: теория и история экономических и социальных институтов и систем. Вып. №5. С.23-24.
12. Yesmagambetova, M., Keribayeva T., Koshekov, K., Belginova, S., Alibekkyzy, K. & Ospanov, Y. (2022). Smart technologies of the risk-management and decision-making systems in a fuzzy data environment. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.* Vol. – Т.28. №3.
13. Слаева, В.А. (1999). Руководство по выражению неопределенности измерений. – С.-Петербург. – 134 с.
14. Сагидуллина, Г. & Кайсарулы Т. (2020). Модели прогнозирования достоверности инструментальной клинической диагностики в томографии. Вестник ВКТУ. – Т.1. №4. С.160-164.
15. Zadeh, Lotfi. Fuzzy Sets (1965). *Information and Control*, 8(3). – P. 338–53.

References

1. Kontseptsiya razvitiya iskusstvennogo intellekta. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 24 iyulya 2024 goda № 592. [Elektron. resurs]. – 2024. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000592>(data obrashcheniya: 12.03.2025).
2. Ledenev V. Magnitno-rezonansnaya tomografiya (MRT) kolennogo sustava [Elektron. resurs]. – 2025. – <https://mrt-vmsk.ru/blog-chto-iz-sebya-predstavlyayet-mrt-kolennogo-sustava/>(data obrashcheniya: 10.03.2025).

3. Klinicheskii protokol diagnostiki i lecheniya zakrytykh povrezhdenii kolennogo sustava // Ministerstva zdavookhraneniya Respubliki Kazakhstan // Protokol № 10 ot «4» iyulya 2014goda [Elektron. resurs]. – 2024. – [https://diseases.medelement.com/disease/\(data obrashcheniya: 25.01.2025\)](https://diseases.medelement.com/disease/(data obrashcheniya: 25.01.2025)).
4. Morozov, S.P., Ternovoi, S.K., Gorodnichenko, A.I., Artsybasheva, M.V. . & Filisteev, P.A.(2014). Magnitno-rezonansnaya tomografiya v diagnostike povrezhdenii i zabolevani kolennogo sustava. Kremlevskaya meditsina. Klinicheskii vestnik. – T.1.№ 2.S.58-62.
5. Gaisin, R.R., Zakirov, R.Kh., Zaripov, R.A., Nikiforova, A.V. . & Sachenkov, O.A. (2013). Trekhmernaya rekonstruktsiya vnutrennikh organov s odnim kharakternym razmerom na osnove komp'yuternoi tomografii. Prakticheskaya meditsina. –T.1.№1.S.22-24.
6. Materka, A.(2024). Texture analysis methodologies for magnetic resonance imaging. Dialogues Clin Neurosci. Jun;6(2):243-50
7. Rasshirennye vozmozhnosti vizualizatsii v MRT [Elektron. resurs]. – 2024. - [http://www3.gehealthcare.ru/\(data obrashcheniya: 15.02.2025\)](http://www3.gehealthcare.ru/(data obrashcheniya: 15.02.2025)).
8. DICOM: tsifrovye snimki v meditsine [Elektron. resurs]. – 2022. - [https://habr.com/ru/articles/217761/\(data obrashcheniya: 15.02.2025\)](https://habr.com/ru/articles/217761/(data obrashcheniya: 15.02.2025)).
- 9.IEC 31010:2019. Risk management - Risk assessment techniques. [Elektron. resurs]. – 2019. - [https://www.iso.org/standard/72140.html/\(data obrashcheniya: 25.02.2025\)](https://www.iso.org/standard/72140.html/(data obrashcheniya: 25.02.2025)).
10. Lux, T. E-Health – Begriff und Abgrenzung. In S. Müller-Mielitz & T. Lux (Eds.), E-Health Ökonomie. (2017). Wiesbaden: Springer Gabler; pp. 39-57.
11. Nait, F. Ponyatiya riska i neopredelennosti. (1994). Al'manakh:teoriya i istoriya ekonomicheskikh i sotsial'nykh institutov i sistem. Vyp. №5.S.23-24.
12. Yesmagambetova, M., Keribayeva, T., Koshekov, K., Belginova, S., Alibekkyzy, K. & Ospanov, Y. (2022). Smart technologies of the risk-management and decision-making systems in a fuzzy data environment. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.Vol. – T.28.№3.
13. Slaeva V.A.(1999). Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmerenii. - S.-Peterburg.-134 s.
14. Sagidullina, G. . & Kaisaruly T. (2020). Modeli prognozirovaniya dostovernosti instrumental'noi klinicheskoi diagnostiki v tomografii. Vestnik VKTU. – T.1.№4. S.160-164.
15. Zadeh, Lotfi. Fuzzy Sets (1965). Information and Control, 8(3). – P. 338–53

МАГНИТТЫҚ-РЕЗОНАНДЫ ДИАГНОСТИКА ЖҮЙЕСІНДЕГІ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУ ПРОЦЕСТЕРІН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ

***Аңдатпа.** Мақалада тізе буынының диагностикасының МРТ мысалында тірек-қимыл аппаратының аурулары кезінде халыққа медициналық көмектің сапасын арттырудың негізгі мақсаты көрсетілген. МРТ технологиясы мақалада физикалық өлшенетін көрсеткіштер мен есептелген виртуалды параметрлер-тәуекелдерді қамтитын кеңейтілген шындықтың интеграцияланған киберкеңістігі ретінде жүйелі түрде қарастырылады. Зерттеу міндеттеріндегі медициналық көмек жүйесі тік интеграция векторы мен көлденең вектордың құрамымен ұсынылған. Тік интеграция векторы-бұл жүйелік иерархиялық деңгей құрылымы, төменгі операциялық және технологиялық деңгеймен ұйымдастырушылық-техникалық байланыс. Тік вектордың жүйелік сапасының ұйымдастырушылық-техникалық өлшемиарты мыналарды: техникалық қамтамасыз етуді; ақпараттық талдамалық қамтамасыз етуді; математикалық қамтамасыз етуді; метрологиялық қамтамасыз етуді; кадрлық қамтамасыз етуді; бағдарламалық қамтамасыз етуді қамтамасыз етудің өлшенген агенттерінің анық емес құрамы болып табылатын цифрлық жетілу деңгейін пайдалану ұсынылады. Сандық жетілу деңгейін сандық бағалау үшін бұлыңғыр принциптерге негізделген модель мен алгоритм жасалды. Көлденең операциялық-технологиялық вектор міндетті Клиникалық-зертханалық тексеру*

және қосымша рентгенография және ультрадыбыстық диагностика негізінде рәсімдерді біріктіреді. Төменгі жүйелік деңгейдегі жұмыс технологиясы болып табылады МРТ диагностика. Бұл деңгейде негізгі ғылыми-практикалық назар бақылау агенттерінің параметрлік белгісіздігі жағдайында бақылаудың операциялық тәуекелдерін сандық бағалау және диагностикалық шешімдер қабылдау процестерін рәсімдеуге бағытталған. Осы мақсатта ықтималдық, Имитациялық, статистикалық модельдер мен сараптамалық тәсілдер әзірленді. Теориялық гипотезалардың практикалық нәтижелерге сәйкестігі компьютерлік модельдеу арқылы бағаланады, ол үшін Python тілінде бағдарламалық қосымшалар жасалады.

Түйін сөздер: МРТ технологиясы, жүйесі, цифрлық жетілу, бұлыңғырлық, модельдеу, бақылау тәуекелдері.

DIGITAL TRANSFORMATION OF CONTROL RISK MANAGEMENT PROCESSES IN THE MAGNETIC RESONANCE DIAGNOSTICS SYSTEM

Abstract. The article sets the main goal of improving the quality of medical care for the population with diseases of the musculoskeletal system, using the example of MRI diagnostics of the knee joint. MRI technology is systematically considered in the article as an integrated cyberspace of augmented reality containing physically measurable indicators and calculated virtual risk parameters. The medical care system in the research tasks is represented by a composition of a vertical integration vector and a horizontal vector. The vertical integration vector is a systemic hierarchical inter-level structure, an organizational and technical link with the lower operational and technological level. The organizational and technical criterion for the systemic quality of the vertical vector is proposed to use the level of digital maturity, which is a fuzzy composition of weighted support agents: technical support; information analytical support; mathematical support; metrological support; personnel support; software. For a quantitative assessment of the level of digital maturity, a model and an algorithm based on fuzzy principles have been developed. The horizontal operational and technological vector aggregates the procedures of mandatory clinical and laboratory examination and additional ones based on radiography and ultrasound diagnostics. The working technology at the lower system level is MRI diagnostics. At this level, the main scientific and practical attention is focused on the formalization of the processes of quantitative assessment of operational risks of control and making diagnostic decisions under conditions of parametric uncertainty of control agents. For this purpose, probabilistic, simulation, statistical models and expert approaches have been developed. The adequacy of theoretical hypotheses to practical results is assessed by computer modeling, for which software applications in the Python language have been developed.

Keywords: MRI technology, system, digital maturity, fuzziness, modeling, control risks.

Авторлар туралы мәлімет

Танкибаева Акерке Кыдырбековна	Техника және технологиялар магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, «Ақпараттық технологиялар және зияткерлік жүйелер мектебі», Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru .
Кумаргажанова Сауле Кумаргажановна	Техника ғылымдарының кандидаты, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Ақпараттық технологиялар және зияткерлік жүйелер мектебі» қауымдастырылған профессоры, , Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: skumargazhanova@gmail.com
Азаматов Багдат Нурланович	PhD, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Smart engineering» құзыреттілік орталығының басшысы, Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: azamatovy@mail.ru

Азаматова Жанерке Кыдырбековна	Техника ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, «Жер туралы ғылымдар мектебі», Өскемен қ., Қазақстан, E-mail: zhanerkeaz@mail.ru
--------------------------------------	---

Сведение об авторах

Танкибаева Акерке Кыдырбековна	Магистр техники и технологий, «Школа информационных технологий и интеллектуальных систем», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru .
Кумаргажанова Сауле Кумаргажановна	Кандидат технических наук, ассоциированный профессор «Школа информационных технологий и интеллектуальных систем», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан E-mail: skumargazhanova@gmail.com
Азаматов Багдат Нурланович	Ph.D. «Автоматизация и управление», руководитель Центра компетенции «Smart engineering», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, E-mail: azamatovy@mail.ru
Азаматова Жанерке Кыдырбековна	Кандидат технических наук, ассоциированный профессор «Школа наук о Земле», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан E-mail: zhanerkeaz@mail.ru

Information about the authors

Tankibayeva Akerke	Master of Engineering and Technology, School of Information Technologies and Intelligent Systems, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru
Kumargazhanova Saule	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, School of Information Technologies and Intelligent Systems, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, E-mail: skumargazhanova@gmail.com
Azamatov Bagat	Ph.D. in Automation and Control, Head of the Smart Engineering Competence Center, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: azamatovy@mail.ru
Azamatova Zhanerke	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan E-mail: zhanerkeaz@mail.ru