

Н.М. Сисенов, Г.Б. Улюкова*, Д.Ж. Сатыбалдина, А.К. Шайханова

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

10000 Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2

*e-mail: gulden1590@gmail.com

ISO/IEC 25010:2023, MSCDM ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ГИБРИДТІ СЕНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа: Ақпараттық жүйелердің сенімділігі – қазіргі цифрлық сервистердің, әсіресе жүктемесі жоғары және цифрландыру үдерістері жылдам жүріп жатқан жағдайда, тұрақты жұмыс істеуінің негізгі шарты. Дәстүрлі тәсілдердің көпшілігі жекелеген көрсеткіштерге немесе сарапшылардың субъективті пікіріне сүйенеді, бұл нәтижелердің ашықтығын шектейді. Осы мақалада гибриді әдістеме ұсынылды. Ол ISO/IEC 25010:2023 сапа моделін, көпкритерийлі шешім қабылдау әдістерін (ARAS, CoCoSo, TOPSIS) және жетіспейтін деректерді қалпына келтіруге арналған машиналық оқытуды біріктіреді. ISO/IEC 25010:2023 стандарты сенімділікке қатысты сапа атрибуттарының құрылымын анықтау және тиісті көрсеткіштерді таңдау үшін қолданылады. АНР әдісі сарапшылардың пікіріне негізделі отырып, критерийлердің салмақтарын жүйелі түрде анықтауға мүмкіндік береді. Деректер жиынындағы жетіспейтін мәндер машиналық оқыту алгоритмі арқылы қалпына келтіріп, толық әрі бірізді деректер матрицасы алынады. Деректер дайындалғаннан кейін, баламалы жүйелердің сенімділігі үш көпкритерийлі әдіс арқылы бағаланады. Бұл қорытынды рейтингтің тұрақтылығын арттырып, салмақ коэффициенттеріндегі өзгерістерге сезімталдықты төмендетеді. Ұсынылған әдістеме әртүрлі архитектураға ие төрт нақты ақпараттық жүйеде сынақтан өткізілді. Қолданылған әдістер арасында жоғары деңгейде сәйкестік байқалды, рейтингтер салмақтарды $\pm 10\%$ өзгерткеннің өзінде тұрақты болып қалды, сондай-ақ сенімділікті пайыздық көрсеткішпен бағалау мүмкіндігі бар екені дәлелденді. Бұл тәсіл жүйелерді объективті салыстыруға, әлсіз тұстарын анықтауға және оларды жетілдіру мен жаңғырту бойынша негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Ақпараттық жүйе, Сенімділік, ISO/IEC 25010:2023, көпкритерийлі әдіс, ARAS, CoCoSo, TOPSIS, Машиналық оқыту.

Кіріспе

Қазіргі ұйымдар ақпараттық жүйелерге кеңінен сүйенеді, олар ішкі бизнес-процестерді ғана емес, клиенттермен, мемлекеттік органдармен және серіктестермен өзара байланыстарды да қамтамасыз етеді. Цифрлық трансформация жағдайында ақпараттық жүйелердің сенімділігі ұйымдардың тұрақты дамуының негізгі факторына айналууда. Зерттеулер IT-инфрақұрылымдағы ақаулардың шамамен 60%-ы жүйе сенімділігін тиімсіз бағалау мен басқарудан туындайтынын көрсетеді [1]. Маңызды ақпараттық жүйенің істен шығуы қаржылық шығындарға, өндірістік үдерістердің үзілуіне, деректердің жоғалуына және клиенттер мен серіктестер сенімінің төмендеуіне алып келеді. Бұл мәселе банк, денсаулық сақтау және энергетика салаларында ерекше өзекті [2].

Ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалау саласында көптеген зерттеулер жүргізілгенімен, қолданыстағы тәсілдердің басым бөлігі техникалық көрсеткіштерге (MTBF, MTTR, қолжетімділік) немесе сарапшылардың субъективті бағаларына негізделген [3]. Алайда сенімділік жүйенің жұмыс тұрақтылығын, деректердің сенімділігін, қауіпсіздігін, өнімділігін және пайдалануға қолайлылығын қамтитын көпқырлы ұғым болып табылады [4].

Соңғы зерттеулер техникалық және ұйымдастырушылық өлшемдерді біріктіретін, сондай-ақ толық емес деректермен жұмыс істей алатын интеллектуалды әдістерге басымдық береді [5]. Алайда бұл тәсілдердің көпшілігі ақпараттық жүйелердің сенімділігін объективті және қайталанатын түрде бағалауға жеткілікті мүмкіндік бермейді. Осыған байланысты ISO/IEC 25010:2023 стандартына негізделген, көпкритерийлі талдау мен машиналық оқытуды біріктіретін гибриді әдістемелерді әзірлеу өзекті болып табылады.

ISO/IEC 25010:2023 стандарты SQuaRE стандарттар тобына жатады және ақпараттық жүйелердің сапасын халықаралық деңгейде объективті бағалауға арналған [6]. Стандарт

функционалдылық, өнімділік тиімділігі, үйлесімділік, пайдалануға қолайлылық, сенімділік, қауіпсіздік, сүйемелденгіштік және тасымалданғыштық сияқты сегіз негізгі атрибутты қамтып, әзірлеушілер, тестілеушілер мен тапсырыс берушілер арасында ортақ бағалау негізін қалыптастырады [7]. Алдыңғы зерттеулер, соның ішінде Ixitask жүйесіне жүргізілген тәжірибелер, стандарттың сенімділік, пайдалануға қолайлылық және қауіпсіздік деңгейін бағалауда тиімді екенін, сондай-ақ үлкен деректермен жұмыс істеу кезінде жетілдіруді қажет ететін тұстарды анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті [8].

Көпкритерийлі шешім қабылдау (MCDM) модельдері бірнеше критерийді қамтитын күрделі мәселелерді бағалауда кеңінен қолданылады [9, 10]. Ең танымал әдістерге ANP, TOPSIS және DEMATEL жатады, олар мәселені иерархиялық құрылымға бөліп, критерийлердің салыстырмалы маңыздылығын анықтауға мүмкіндік береді [11-13]. Алайда классикалық тәсілдер рейтингтің ауысуы сияқты шектеулерге ие [14], сондықтан бағалаудың тұрақтылығы мен дәлдігін арттыру мақсатында Fuzzy ANP, Fuzzy TOPSIS және ANP–DEMATEL сияқты гибриді модельдер кеңінен қолданылуда [15].

Сенімділік жүйенің тұрақты әрі ақаусыз жұмыс істеу қабілеті ретінде қарастырылады, ал соңғы жылдары оны қамтамасыз ету үшін машиналық оқыту әдістері кеңінен қолданылуда [16]. Әсіресе бұлттық, өнеркәсіптік және IoT орталарында XGBoost, LightGBM сияқты градиенттік бустингке негізделген ансамбльдік әдістер ақауларды болжауда жоғары дәлдік көрсетіп, теңгерімсіз деректермен жұмыс істеуде тиімділігін дәлелдеді [17, 18].

Бұл зерттеуде машиналық оқыту әдістері болжам жасау және деректердегі жетіспейтін мәндерді толықтыру үшін қолданылады. XGBoost алгоритмі көрсеткіштер арасындағы күрделі бейсызық байланыстарды ескере отырып, деректердің толықтығын қамтамасыз етеді, бұл кейінгі көпкритерийлі талдаудың дұрыстығын арттырады [19]. 1 кестеде көрсеткендей, қолданыстағы гибриді әдістер белгісіздік пен критерийлер арасындағы тәуелділікті ескергенімен, стандартталған сапа модельдерін машиналық оқытумен сирек біріктіреді, ал ұсынылған зерттеу осы ғылыми олқылықтың орнын толтыруды көздейді.

Кесте 1 – Жүйелерді бағалауда қолданылатын гибриді тәсілдерге шолу

Зерттеу	Әдістер комбинациясы	Қолдану саласы	Шешілетін мәселе
Hemmati et al. (2019) [12]	FAHP – Interval TOPSIS	Қызмет көрсету стратегиясын таңдау	Белгісіздік пен субъективтілікті ескеру
Etraj et al. (2018) [11]	ANP – DEMATEL	Жеткізушілерді бағалау	Критерийлер арасындағы байланысты анықтау
Ortiz et al. (2020) [13]	DEMATEL – ANP	Six Sigma жобаларын таңдау	Өзара әсер мен кері байланысты ескеру
Farrokh et al. (2020) [20]	ANP – FTOPSIS, ANP – FVIKOR	Банктердің қызметін бағалау	Көпкритерийлі кешенді бағалау

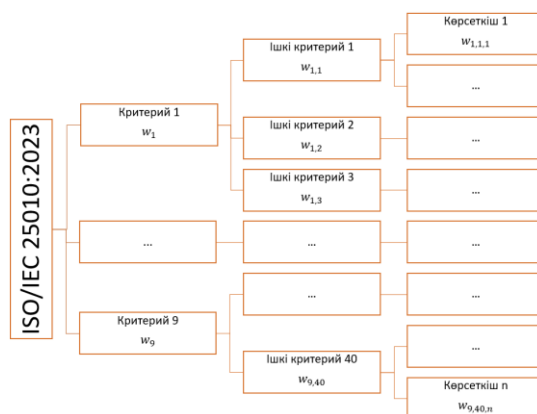
Талдау нәтижелері ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалаудың қолданыстағы әдістері мәселенің жекелеген қырларын ғана қамтитынын көрсетті: ISO стандарттары әмбебап критерийлерді ұсынғанымен, оларды сандық талдау құралдары жоқ, ал MCDM әдістері толық деректерді талап етіп, күрделі өзара байланыстарды әрдайым ескере бермейді [20]. Машиналық оқыту әдістері толық емес және бейсызық деректермен тиімді жұмыс істегенімен, көбіне тек ақауларды болжаумен шектеледі. Осыған байланысты зерттеуде ISO стандартталған критерийлерін, MCDM салмақтауын және деректерді қалпына келтіруге арналған машиналық оқытуды біріктіретін гибриді әдістеме ұсынылып, ақпараттық жүйелердің сенімділігін жан-жақты әрі объективті бағалау көзделеді.

Зерттеуде халықаралық сапа стандарттарын, көпкритерийлі шешім қабылдау әдістерін және машиналық оқытуды біріктіретін ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалаудың кешенді әдістемесі ұсынылған. Зерттеудің негізгі ғылыми үлестері мыналардан тұрады:

– Интеграцияланған модель: ISO/IEC 25010:2023 стандартында анықталған критерийлер мен ішкі критерийлер алғаш рет ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалау үшін қолданылып, күрделі «сенімділік» ұғымы өлшенетін көрсеткіштер жиынтығына айналдырылды;

– Салмақтау: ANP әдісі критерийлердің маңыздылығын анықтау үшін пайдаланылып, жүйенің және пәндік саланың ерекшеліктерін ескеруді қамтамасыз етеді;

– Машиналық оқытуды біріктіру: ML әдістерінің көмегімен жетіспейтін деректерді қалпына келтіріп, толық емес ақпарат мәселесін жояды;



Сурет 1 – Ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалаудың үш деңгейлі моделі

Сараптамалық бағалаулардың сенімділігін қамтамасыз ету үшін тексеру үдерісінің бір бөлігі ретінде келісімділік коэффициенті (CR) де есептеледі. Егер $CR < 0.1$ болса, нәтижелер қабылдауға жарамды деп есептеледі және алынған салмақтар келесі есептеулерде қолданылады.

Келесі кезеңде әрбір критерий бойынша шешім матрицалары құрылады, мұнда жолдар баламаларға, ал бағандар көрсеткіштерге сәйкес келеді. Матрица элементтері әрбір көрсеткіш бойынша баламалардың сандық немесе сапалық бағаларын көрсетеді.

Баламалар (A) мен көрсеткіштер (C) берілсін:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}, \quad C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (3)$$

Әрбір балама көрсеткіштер бойынша бағаланып, нәтижесінде шешім матрицасы қалыптасады:

$$X = (x_{ij})_{m \times n}, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n, \quad (4)$$

мұндағы x_{ij} – i -ші баламаның j -ші көрсеткіш бойынша мәні.

Келесі кезеңде бағалау матрицасында жетіспейтін элементтердің бар-жоғы тексеріледі. Егер матрицада $\exists x_{ij} = \emptyset \rightarrow x_{ij}$ мәні жоқ элемент болса:

$$x'_{ij} = f_{ML}(X_{\setminus j}) \quad (5)$$

Егер бастапқы деректерде оңтайлы мәндер көрсетілмесе, онда олар келесі ереже бойынша анықталады:

- егер көрсеткіш *max* түріне жатса (мәні неғұрлым жоғары болса, соғұрлым жақсы), онда барлық баламалар арасындағы ең үлкен мән оңтайлы деп қабылданады;
- егер көрсеткіш *min* түріне жатса (мәні неғұрлым кіші болса, соғұрлым жақсы), онда ең кіші мән оңтайлы болып есептеледі.

ARAS (*Additive Ratio Assessment*) әдісі баламалардың оңтайлы шешімге салыстырмалы жақындығы негізінде олардың интегралды бағасын алу үшін қолданылады. Әдістің негізгі идеясы әрбір баламаны әр көрсеткіш бойынша барлық мәндердің қосындысына қатысты нормализациялау, содан кейін нормаланған мәндердің салмақталған қосындысын есептеу. Интегралды көрсеткіштің мәні неғұрлым жоғары болса, балама соғұрлым тиімді деп есептеледі.

Матрицаның әрбір элементі сәйкес көрсеткіш бойынша мәндердің қосындысына қатысты нормализацияланады:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \text{ (max көрсеткіші үшін)}, r_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=0}^m 1/x_{ij}} \text{ (min көрсеткіші үшін)} \quad (6)$$

Көрсеткіштердің w_j салмақтарын ескере отырып, салмақталған нормализацияланған матрица есептеледі:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (7)$$

Әрбір балама үшін жалпы басымдық мәні анықталады:

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (8)$$

Әрбір баламаның пайдалылық көрсеткіші оның жалпы мәнінің оңтайлы баламаның мәніне қатынасы ретінде есептеледі:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (9)$$

мұндағы S_0 – идеал баламаға сәйкес мән.

Баламалар K_i мәндерінің кему ретімен реттеледі. Пайдалылық көрсеткіші ең жоғары болған балама ең үздік балама болып саналады.

CoCoSo (Combined Compromise Solution) әдісі баламалардың интегралды бағасын алу үшін салмақталған қосынды мен салмақталған ымыра (trade-off) қағидаларын біріктіретін көпкритерийлі талдаудың заманауи тәсілі. CoCoSo әдісінде әрбір балама әрбір көрсеткіш бойынша нормализацияланады, содан кейін орташа мәндер мен салыстырмалы басымдықтарды ескеретін агрегатталған индекстер есептеледі. Соңғы ранжирлеу пайда мен шығын көрсеткіштері арасындағы тепе-теңдікті ескеруге мүмкіндік беретін біріктірілген пайдалылық өлшемі негізінде жүзеге асырылады.

Алдымен көрсеткіштерді нормализациялаймыз:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \text{ (max көрсеткіші үшін)}, r_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \text{ (min көрсеткіші үшін)} \quad (10)$$

Нормализацияланған мәндерді салмақтау:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (11)$$

мұндағы w_j – j -ші критерийдің салмағы.

Аддитивті және мультипликативті агрегатталған функцияларды есептеу (қосынды функция мен көбейтінді функция есептеледі):

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}, \quad P_i = \prod_{j=1}^n v_{ij}^{w_j} \quad (12)$$

Осыған сүйене отырып, біріктірілген индекстер қалыптастырылады:

$$Q_i^{(1)} = \frac{S_i + P_i}{2}, \quad Q_i^{(2)} = \frac{S_i}{\max(S)} + \frac{P_i}{\max(P)}, \quad Q_i^{(3)} = \frac{\lambda S_i + (1 - \lambda) P_i}{\max_i (\lambda S_i + (1 - \lambda) P_i)} \quad (13)$$

$$K_i = \frac{1}{3} (Q_i^{(1)} + Q_i^{(2)} + Q_i^{(3)}) \quad (14)$$

$\lambda \in [0; 1]$ – тепе-теңдік коэффициенті.

Баламалар K_i мәндерінің кему ретімен ранжирленеді. Ең жоғары мәнге ие балама ең үздік деп есептеледі.

Көпкритерийлі талдауда жетекші құралдардың бірі ретінде қарастырылатын TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) әдісі оңтайлы шешімге ең жақын және анти-оңтайлы (қарсы идеал) нүктеден ең алыс орналасқан баламаны таңдауға негізделген. Осы мақсатта алдымен нормализацияланған әрі салмақталған шешім матрицасы құрылады, содан кейін әрбір көрсеткішке сәйкес идеал және анти-идеал векторлар анықталады. Әрбір балама үшін осы эталондық нүктелерге дейінгі арақашықтықтар есептеледі, соның негізінде жақындық коэффициенті анықталады. Баламалар осы коэффициенттің мәні бойынша ранжирленеді: коэффициент неғұрлым жоғары болса, балама соғұрлым қолайлы деп есептеледі.

Векторлық нормализация қолданылады:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (15)$$

Нормализацияланған мәндер салмақталады:

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (16)$$

Идеал шешімдер (Оң идеал (Positive), Сол идеал (Negative)) анықталады:

$$V^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}, \quad V^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (17)$$

мұндағы:

$$v_i^+ = \max_j v_{ij} \text{ (max көрсеткіші үшін)}, \quad v_i^- = \min_j v_{ij} \text{ (min көрсеткіші үшін)} \quad (18)$$

$$v_i^- = \min_j v_{ij} \text{ (max көрсеткіші үшін)}, \quad v_i^+ = \max_j v_{ij} \text{ (min көрсеткіші үшін)} \quad (19)$$

Балама V_i -дің оң және теріс идеал шешімдерге дейінгі арақашықтығы Евклид метрикасы арқылы есептеледі:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2}, \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (20)$$

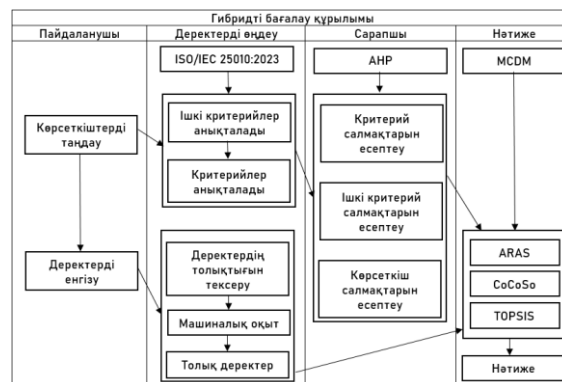
Балама нұсқаның идеал шешімге салыстырмалы жақындығы келесідей анықталады:

$$K_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad 0 \leq K_i \leq 1 \quad (21)$$

Баламалар K_i мәндерінің көму ретімен сұрыпталады. K_i мәні неғұрлым үлкен болса, балама идеал шешімге соғұрлым жақын болып саналады.

Қорытынды кезеңде көрсеткіштердің өлшенген мәндері шешім матрицасы аясында олардың оңтайлы мәндерімен салыстырыла отырып бағаланады. Әрбір баламаның оңтайлы мәннен ауытқуы анықталады, бұл оның сенімділік деңгейін 0%-дан 100%-ға дейінгі пайыздық көрсеткіш түрінде ұсынуға мүмкіндік береді. Өртүрлі көпкритерийлі талдау әдістері (ARAS, CoCoSo, TOPSIS) арқылы алынған нәтижелерді біріктіру жолымен интегралды сенімділік бағасы қалыптастырылады. Қорытынды көрсеткіштің теңгерімді болуын қамтамасыз ету үшін интегралды индикаторлардың геометриялық орташа мәні есептеледі:

R_i мәндерінің негізінде баламалардың кешенді рейтингі қалыптастырылады. R_i мәні неғұрлым жоғары болса, жүйе оңтайлы өнімділік көрсеткіштеріне соғұрлым жақын және оның сенімділігі соғұрлым жоғары деп есептеледі.



Сурет 2 – Ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалау құрылымдық үлгісі

2-суретте көрсетілгендей, ұсынылған сенімділікті бағалау құрылымы ISO/IEC 25010:2023 сапа моделін, машинамен оқыту әдістерін және көпкритерийлі шешім қабылдау тәсілдерін біріктіретін гибриді әдістеменің толық жұмыс үдерісін сипаттайды. Үдеріс көрсеткіштерді таңдау мен деректерді енгізуден басталады, содан кейін деректердің толықтығын тексеруге арналған валидация кезеңі жүргізіледі. Деректер жиынтығын толықтыру мақсатында жетіспейтін мәндер ML алгоритмі арқылы алынған болжамды нәтижелермен алмастырылады. Критерийлердің, ішкі критерийлердің және көрсеткіштердің салмақтарын анықтау үшін АНР әдісіне негізделген сараптамалық бағалау қолданылады. Есептелген салмақтар ARAS, CoCoSo және TOPSIS әдістерінде пайдаланылады, олардың нәтижесінде интегралды сенімділік көрсеткіштері алынады. Қорытынды сенімділік индексі осы нәтижелердің геометриялық орташа мәні ретінде анықталады.

Қорытындылай келе, аталған әдістеме ISO/IEC 25010:2023 халықаралық стандартының соңғы нұсқасын, көпкритерийлі талдау әдістерін (ARAS, CoCoSo, TOPSIS), салмақтарды анықтауға арналған АНР әдісін және жетіспейтін мәндерді толықтыру үшін машинамен оқыту алгоритмдерін кешенді түрде біріктіреді. Өлшенетін көрсеткіштер мен олардың салмақталған маңыздылығын интеграциялау арқылы гибриді модель ақпараттық жүйелердің сенімділігін жан-жақты әрі бейтарап бағалауды қамтамасыз етеді. Өртүрлі MCDM тәсілдері бойынша алынған нәтижелердің геометриялық орташа мәні арқылы есептелетін қорытынды кешенді көрсеткіш тұрақты әрі визуалды нәтижелерді қамтамасыз етіп, ұсынылған әдістеменің қолданбалы және ғылыми зерттеулер үшін жарамдылығын растайды.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу жүргізу үшін бізге нақты деректер қажет болды. Осы мақсатта бірнеше IT компанияларымен байланыс орнатылып, олар зерттеуге қолдау көрсетуге келісіп, өздері сүйемелдейтін ақпараттық жүйелер туралы мәліметтер ұсынды. Компаниялар құпиялылық

талаптарын қатаң сақтауды талап етті: сондықтан жүйелердің де, компаниялардың да атаулары жария етілмейді. Бізге тек жүйелердің сипаттамалары және сенімділікті бағалау үшін қажетті көрсеткіштердің өлшеу нәтижелері ғана берілді. Осы деректер негізінде машинамен оқыту мен көпкритерийлі талдауда пайдаланылатын деректер жиынтығы қалыптастырылды. Үлгілік эксперимент ретінде тапсырыс беруші компаниялардың ішкі құжат айналымына арналған үш ақпараттық жүйе бойынша деректер ұсынылды. Олардың негізгі сипаттамалары төмендегі кестеде көрсетілген (2-кесте).

Кесте 2 – Ұсынылған ақпараттық жүйелердің сипаттамалары

Жүйе	Қолданылған технологиялар	Негізгі функциялар
Ақпараттық жүйе № 1	Angular + TypeScript (HTML/CSS, PDF.js), Java 17 (Spring Boot, Spring Security – OAuth2/OpenID Connect), PostgreSQL, Redis, S3-compatible Object Storage (MinIO/корпоративтік S3), Elasticsearch, REST API, Kafka, LDAP/Active Directory, GitLab CI/CD, TLS, RBAC, аудит логтары, DLP-ге дайын экспорт	Құжатты тіркеу (кіріс/шығыс/ішкі), нөмірлеу және шаблондар; келісу/бекіту/визалау маршруттары; рөлдер мен қолжетімділік (бөлім, лауазым, жоба); қосымшалармен жұмыс (скан, PDF, DOCX), нұсқаларды басқару; тапсырма және резолюция (орындаушы, мерзім, еске салу); құжат карточкасы (метадерек, байланыстар, тарих); фильтрлер мен толықмәтінді іздеу; есептер және SLA статистикасы; электронды қолтаңбаны (EDS) провайдер арқылы қолдау
Ақпараттық жүйе № 2	React + TypeScript (Material UI), .NET 8 (ASP.NET Core, gRPC), Camunda/Flowable (BPMN 2.0), MS SQL Server, Redis, корпоративтік NAS (WORM), RabbitMQ, REST/SOAP, Active Directory/SSO, Windows Server кластері	Келісімшарттың өмірлік циклі (дайындау, келісу, қол қою, орындау, жабу); контрагент карточкасы және реквизит тексеру; келісім тармақтарының тарихы және нұсқа салыстыру; BPMN процесс-конструктор; процеске байланған қызметтік жазбалар, бұйрықтар мен хаттамалар; автоматты хабарламалар (email/Teams/ішкі); SLA бақылау; аудит және рөлдік қолжетімділік; PDF экспорт (мөртаңба/EDS)
Ақпараттық жүйе № 3	Vue 3 + TypeScript, Python (FastAPI) немесе Node.js (NestJS), PostgreSQL, ClickHouse (опционал), Object Storage (S3/MinIO, lifecycle policy), OpenSearch немесе PostgreSQL Full-Text, Keycloak (SSO, MFA опционал), Docker Compose, Kubernetes (опционал), Prometheus + Grafana, Sentry	Ішкі өтінімдермен жұмыс (анықтама, құжат көшірмесі, қызметтік өтінім); мұрағаттау (істер номенклатурасы, сақтау мерзімі, жауапты); құжаттарды жүктеу, төгтеу және маршруттау; қарапайым келісу (келісті/қайтарды/түзетуді сұрады); қолжетімділік деңгейлері (жалпы, бөлімдік, жеке); әрекеттерді журналдау; қарапайым есептер (өтінім саны, орындалу уақыты, жиі сұралатын түрлер)

Эксперименттік деректерді неғұрлым айқын түрде ұсыну мақсатында жоғарыда сипатталған ақпараттық жүйелер жеңілдетілген нұсқада қарастырылды. Олардың сенімділігін талдау үшін жүйенің ерекшеліктерін барынша толық әрі жүйелі түрде сипаттайтын негізгі көрсеткіштер жиынтығы қолданылды. Көрсеткіштердің тізімі 3-кестеде келтірілген. Бұл деректерді ықшам түрде ұсынуға, сонымен қатар көпкритерийлі талдау мен нәтижелерді визуализациялауды қатар жүргізуге мүмкіндік береді.

Салмақтарды есептеу үшін АНР жұптық салыстыру әдісі қолданылды. Бағалау барысында 25 сарапшыдан алынған орташа мәндер ескерілді. Сарапшылар тобына IT жүйе архитекторлары (8), бағдарламалық қамтамасыз ету инженерлері (7), ақпараттық қауіпсіздік мамандары (5) және ақпараттық жүйелер саласындағы академиялық зерттеушілер (5) кірді. Барлық сарапшылардың кәсіби тәжірибесі кемінде 7 жылды құрады және олар жүйелерді бағалау немесе сапаны қамтамасыз ету жобаларына бұрын қатысқан. Барлық матрицалар үшін келісімділік коэффициенті (CR) 0,1-ден төмен болды, бұл сарапшылар пікірлерінің қабылдауға жарамды деңгейде келісілгенін көрсетеді.

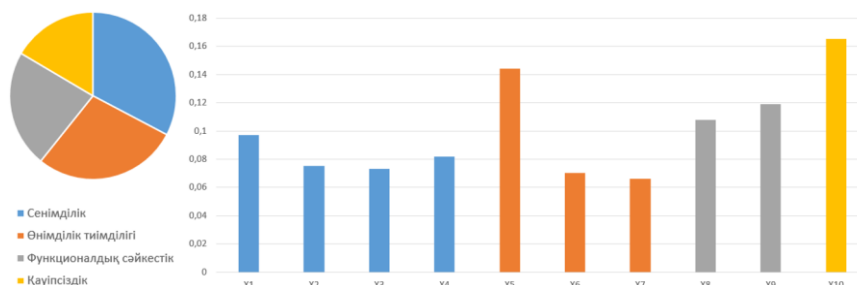
Осы деректер негізінде критерийлер, ішкі критерийлер және көрсеткіштер басымдық бойынша реттеліп, кейіннен олардың мәндері нормализацияланды. Қорытынды нәтижелер 4-кестеде, ал салмақтардың құрылымы мен үлестірілуінің графикалық көрінісі 3-суретте көрсетілген.

Кесте 3 – Ақпараттық жүйелердің сенімділігін талдауға арналған көрсеткіштер тізімі

Көрсеткіш коды	Көрсеткіш атауы	Өлшену әдісі
X1	Қолжетімділік	Жүйенің жұмыс істеу уақытының жалпы бақылау уақытына қатынасы
X2	Қалпына келудің орташа уақыты (MTTR)	Істен шыққаннан кейін қалпына келудің орташа уақыты
X3	Істен шығулар арасындағы орташа уақыт (MTBF)	Жалпы жұмыс істеу уақытының істен шығу жиілігіне қатынасы
X4	Істен шығу жиілігі	Жұмыс уақытының бірлігіне шаққандағы істен шығулар саны
X5	Жүйенің жауап беру уақыты	Пайдаланушы сұранысына жүйенің орташа жауап беру уақыты
X6	CPU пайдалану деңгейі	Әдеттегі жүктеме жағдайындағы CPU-дың орташа жүктемесі
X7	Жедел жадты (RAM) пайдалану деңгейі	Жүйе жұмыс істеп тұрған кездегі RAM-ның орташа пайдаланылуы
X8	Функционалдық талаптардың орындалу пайызы	Іске асырылған функциялар санының талап етілетін функциялар санына қатынасы
X9	Деректерді өңдеу дәлдігі	Деректерді дұрыс өңдеу нәтижелерінің үлесі
X10	Қол жеткізу қауіпсіздігі деңгейі (сәтті шабуылдардың пайызы)	Сәтті шабуылдар санының шабуыл әрекеттерінің жалпы санына қатынасы

Кесте 4 – АНР әдісі арқылы салмақтарды анықтау нәтижелері

Критерий	Критерий салмағы	Ішкі критерий	Ішкі критерий салмағы	Көрсеткіш	Көрсеткіш салмағы	Көрсеткіштің нормализацияланған мәні
Сенімділік	0.3269	Қолжетімділік	0.2967	X1	1	0.097
		Қалпына келу	0.23	X2	1	0.0752
		Жетілгендік	0.2233	X3	1	0.0730
		Ақауларға төзімділік	0.25	X4	1	0.0817
Өнімділік тиімділігі	0.2808	Уақыттық мінез-құлық	0.5143	X5	1	0.1444
		Ресурстарды пайдалану	0.4857	X6	0.5143	0.0701
				X7	0.4857	0.0662
Функционалдық сәйкестік	0.2269	Функционалдық толықтық	0.4747	X8	1	0.1077
		Функционалдық дұрыстық	0.5253	X9	1	0.1192
Қауіпсіздік	0.1654	Тұтастық	1	X10	1	0.1654
Жалпы	1					1



Сурет 3 – Критерийлер мен көрсеткіштер салмақтарының үлестірілуінің графикалық көрінісі

5-кестеде үш эксперименттік ақпараттық жүйе үшін көрсеткіштердің мәндері, оңтайлы мәндері және оңтайландыру бағыттары келтірілген. Сонымен қатар бірінші жүйеге ұқсас төртінші жүйе де жасалды. Оның деректерінде әдейі бірнеше бос мәндер қалдырылды, олар кейіннен машиналық оқыту әдістері арқылы қалпына келтіріледі. Бұл толық емес деректерді өңдеу үдерісін көрсетуге және алынған нәтижелерді салыстыруға мүмкіндік береді.

Кесте 5 – Эксперименттік ақпараттық жүйелер үшін көрсеткіштердің мәндері.

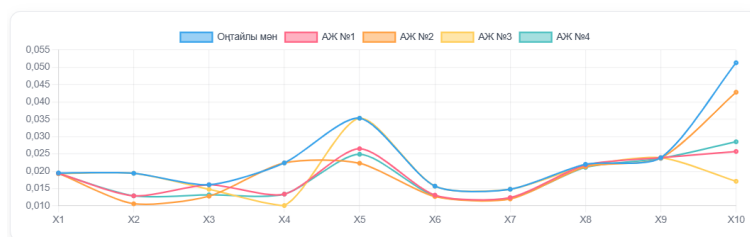
Ақпараттық жүйе	Критерий									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Өлшем бірліктері	Үлес (0-1)	Сағат	Сағат	Істен шығу / сағат	Секунд	%	%	%	Үлес (0-1)	Үлес (0-1)
Оңтайландыру бағыты	max	min	max	min	min	min	min	max	max	min
Салмағы	0.097	0.0752	0.0730	0.0817	0.1444	0.0701	0.0662	0.1077	0.1192	0.1654
Оңтайлы мән	≥ 0.999	≤ 1	≥ 1000	≤ 0.01	≤ 2	≤ 70	≤ 75	100	≥ 0.99	≤ 0.01
	0.999	0.6	1500	0.009	1.2	55	60	100	0.995	0.01
АЖ №1	0.998	0.9	1200	0.015	1.6	65	72	98	0.992	0.020
АЖ №2	0.999	1.1	1500	0.009	1.9	68	74	99	0.995	0.012
АЖ №3	0.996	0.6	900	0.02	1.2	55	60	95	0.985	0.03
АЖ №4	0.998	0.9 (ML)	1200	0.015	1.7 (ML)	65	73 (ML)	98	0.992	0.018 (ML)

Оңтайландыру бағыты «max» болатын көрсеткіштер үшін, нақты өлшенген мән көрсетілген оңтайлы мәннен жоғары болса, эталон ретінде ұсынылған мәндердің ішіндегі ең үлкені алынады. Ал егер ол төмен болса, бастапқы оңтайлы мән сақталады. «min» бағыты бар көрсеткіштер үшін де осыған ұқсас логика қолданылады: егер өлшенген мән төменгі шектен кіші болса, эталон ретінде сол ең кіші мән алынады, ал жоғары мәндер үшін бастапқы оңтайлы мән сақталады. Мұндай тәсіл көрсеткіштердің ерекшеліктерін салыстырмалы талдау барысында және қорытынды бағалауды қалыптастыру кезінде дәл ескеруге мүмкіндік береді.

4-суретте көрсетілгендей, әрбір көрсеткіштің жүйелердің жалпы сенімділігіне әсерін бейнелейтін қорытынды матрица қалыптастырылды. Мұндай деректерді ұсыну форматы баламаларды ғана емес, сонымен қатар оңтайлы мәнді де салыстыруға мүмкіндік береді, бұл әрбір ақпараттық жүйенің күшті және әлсіз жақтарын айқындауға жағдай жасайды. Алынған нәтижелер ARAS әдісі арқылы интегралды көрсеткіштерді одан әрі есептеу және оларды диаграмма түрінде визуализациялау үшін негіз болды.

Әдіс 1 (ARAS)

АЖ	Критерий									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Оңтайлы мән	0,0195	0,0194	0,0161	0,0224	0,0353	0,0157	0,0148	0,0220	0,0239	0,0513
АЖ №1	0,0194	0,0129	0,0161	0,0134	0,0265	0,0131	0,0124	0,0218	0,0239	0,0257
АЖ №2	0,0194	0,0106	0,0128	0,0224	0,0223	0,0127	0,0120	0,0213	0,0238	0,0428
АЖ №3	0,0193	0,0194	0,0148	0,0101	0,0353	0,0157	0,0148	0,0215	0,0239	0,0171
АЖ №4	0,0193	0,0129	0,0132	0,0134	0,0249	0,0129	0,0122	0,0211	0,0237	0,0285



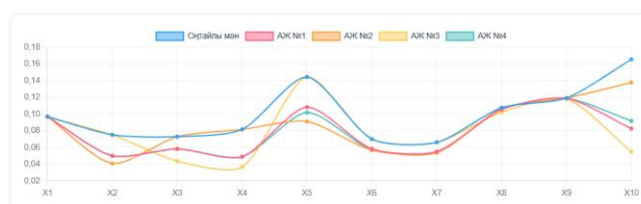
Сурет 4 – ARAS әдісін қолдану нәтижелері

CoCoSo әдісі арқылы есептелген қорытынды нәтижелер 5-суретте көрсетілген. Бұл мәндер барлық көрсеткіштердің біріктірілген бағаларын білдіреді және алты ақпараттық жүйе арасындағы салыстырмалы талдауды жүргізуге мүмкіндік береді.

6-суретте TOPSIS әдісінің нәтижелері көрсетілген. Баламаларды салыстыру барысында әрбір критерий үшін оңтайландыру бағыты ескеріледі: «max» бағытына ие көрсеткіштер үшін жоғары мәндер жүйе сапасының жақсы екенін білдіреді, ал «min» бағытына жататын көрсеткіштер үшін ең кіші мән оңтайлы деп саналады. Бұл тәсіл баламаларды әділ салыстыруға мүмкіндік беріп, зерттеліп отырған ақпараттық жүйелердің күшті және әлсіз жақтарын неғұрлым объективті түрде анықтауға жағдай жасайды.

Әдіс 2 (CoCoSo)

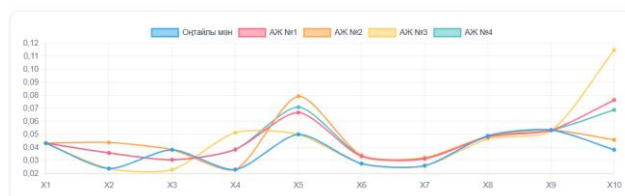
АЖ	Критерии									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Оңтайлы мән	0,0970	0,0752	0,0730	0,0817	0,1444	0,0702	0,0662	0,1077	0,1192	0,1654
АЖ №1	0,0969	0,0501	0,0584	0,0490	0,1083	0,0585	0,0552	0,1055	0,1188	0,0827
АЖ №2	0,0970	0,0410	0,0730	0,0817	0,0912	0,0569	0,0537	0,1066	0,1192	0,1378
АЖ №3	0,0967	0,0752	0,0438	0,0368	0,1444	0,0702	0,0662	0,1023	0,1180	0,0551
АЖ №4	0,0969	0,0501	0,0584	0,0490	0,1019	0,0577	0,0544	0,1055	0,1188	0,0919



Сурет 5 – CoCoSo әдісін қолдану нәтижелері

Әдіс 3 (TOPSIS)

АЖ	Критерии									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Оңтайлы мән	0,0434	0,0239	0,0383	0,0231	0,0501	0,0277	0,0261	0,0491	0,0535	0,0383
АЖ №1	0,0434	0,0359	0,0306	0,0385	0,0669	0,0332	0,0313	0,0482	0,0533	0,0765
АЖ №2	0,0434	0,0439	0,0383	0,0231	0,0794	0,0341	0,0322	0,0486	0,0535	0,0459
АЖ №3	0,0433	0,0239	0,0230	0,0514	0,0501	0,0277	0,0261	0,0467	0,0529	0,1148
АЖ №4	0,0434	0,0359	0,0306	0,0385	0,0710	0,0337	0,0317	0,0482	0,0533	0,0689



Сурет 6 – TOPSIS әдісін қолдану нәтижелері

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Сенімділікті бағалау үш көпкритерийлі талдау әдісі (ARAS, CoCoSo, TOPSIS) арқылы жүргізілді. Нәтижелер ARAS және CoCoSo әдістері бойынша зерттелген №2 жүйенің оңтайлы мәнге жақын екенін көрсетті, бұл сенімділік деңгейінің салыстырмалы түрде жоғары екенін білдіреді. №1 және №4 ақпараттық жүйелер бір-біріне жақын екендігін көрсетті, бұл машиналық оқыту әдістерін қосудың дұрыстығын дәлелдейді. №3 ақпараттық жүйенің мәні салыстырмалы түрде төмен болды (7-сурет).

Жалпы

АЖ	Критерии			
	ARAS	CoCoSo	TOPSIS	Геометриялық орта
Оңтайлы мән	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
АЖ №1	0,7700	0,7765	0,4634	0,6519
АЖ №2	0,8319	0,8532	0,8056	0,8300
АЖ №3	0,7981	0,7890	0,1585	0,4639
АЖ №4	0,7578	0,7789	0,5682	0,6948



Сурет 7 – Ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалаудың қорытынды нәтижелері

Алынған сенімділіктің пайыздық мәндерін интерпретациялау үшін халықаралық бағдарламалық қамтамасыз ету сапасы стандарттарының ұсынымдарына негізделген шкала қолданылды. Бұл шкала ақпараттық жүйелерді сенімділік деңгейлері бойынша жіктеуге және практикалық ұсынымдар әзірлеуге мүмкіндік береді (7-кесте).

Гибридті әдістемеміздің әртүрлі жұмыс жағдайларындағы тұрақтылығын тексеру және растау мақсатында қосымша сезімталдық талдауы жүргізілді. АНР әдісі арқылы анықталған көрсеткіштердің салмақтары $\pm 10\%$ шегінде аздап өзгертілді. Осыдан кейін TOPSIS және CoCoSo әдістері бойынша жиынтық кешенді бағалар қайта есептелді.

Кесте 7 – Ақпараттық жүйелердің сенімділігінің пайыздық мәндерін интерпретациялау шкаласы

Шкала	Сипаттамасы
0-20% – сенімділіктің өте төмен деңгейі	Жүйе ең төменгі пайдалану стандарттарына сәйкес келмей, істен шығу ықтималдығы жоғары болғандықтан, архитектураны елеулі түрде қайта қарау, ресурстарды оңтайландыру және резервтеу стратегияларын енгізу қажет.
20-40% – сенімділіктің төмен деңгейі	Жүйе жұмыс істеп тұр, алайда ол істен шығуларға және жоғары жүктеме жағдайларына бейім. Істен шығуға төзімділікті, қауіпсіздікті, сондай-ақ мониторинг пен диагностика механизмдерін жетілдіру қажет.
40-60% – сенімділіктің орташа деңгейі	Жүйе негізгі талаптарға сәйкес келеді, алайда айтарлықтай шектеулерді әлі де көрсетеді. Тоқтап қалу уақытын және қателер санын азайту үшін өнімділікті кезең-кезеңімен арттыру және функционалдылықты дәл баптау ұсынылады.
60-80% – сенімділіктің жоғары деңгейі	Жүйе пайдаланушылардың талаптарына және қабылданған эталондық көрсеткіштерге сәйкес келеді. Кейде жоғары жүктеме кезеңдерінде әлсіз тұстар байқалуы мүмкін. Қазіргі деңгейін сақтау үшін тұрақты түрде баптау және оңтайландыру жұмыстарын жүргізу қажет.
80-100% – сенімділіктің өте жоғары деңгейі	Жүйе ISO/IEC 25010:2023 стандартының анықтамаларына қатаң сәйкес келе отырып, ең жоғары немесе соған жуық деңгейде жұмыс істейді, сол арқылы іс жүзінде эталондық стандарт ретінде қарастырылады. Осы деңгейде қалу үшін жүйені үздіксіз қадағалап, үнемі жаңа әрі жетілдірілген шешімдерді енгізіп отыру қажет.

Талдау нәтижелері салмақтардың шағын өзгерістері ақпараттық жүйелердің қорытынды рейтингін бұзбағанын көрсетті. Өте болмашы өзгерістер тек кейбір шекаралық жағдайларда, негізінен «Қол жеткізу қауіпсіздігі деңгейі» және «Істен шығулар арасындағы орташа уақыт» көрсеткіштері бойынша байқалды.

Қорытынды

Бұл мақалада ISO/IEC 25010:2023 стандартын, көпкритерийлі талдау әдістерін (ARAS, CoCoSo және TOPSIS), Аналитикалық иерархия әдісін және машинамен оқыту алгоритмдерін бірлесіп қолдануға негізделген ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалаудың гибриді әдістемесі ұсынылды.

ISO/IEC 25010:2023 стандарты әдістеменің тұжырымдамалық негізі ретінде таңдалып, сенімділікті жеке көрсеткіш ретінде емес, қолжетімділік, ақауларға төзімділік, жетілу деңгейі және қалпына келу қабілеті сияқты қасиеттерді қамтитын жүйелік сипаттама ретінде қарастыруға мүмкіндік берді. Стандарттың иерархиялық құрылымы талаптарды логикалық түрде жіктеуді қамтамасыз етіп, абстрактілі сапа сипаттамаларын нақты өлшенетін көрсеткіштермен байланыстыруға жол ашты. АНР әдісін қолдану сараптамалық білімді ескеруге және критерийлер мен көрсеткіштердің салыстырмалы маңыздылығын дәл анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеудің маңызды практикалық аспектілерінің бірі – нақты ақпараттық жүйелерді бағалау кезінде жиі кездесетін деректердің толық еместігі мәселесін шешу болды. Осы мақсатта жетіспейтін мәндерді толықтыру үшін әдістемеге машиналық оқыту енгізілді. Жүргізілген эксперименттер деректерді дайындау кезеңінде машиналық оқытуды қолдану бастапқы деректердің толықтығы мен келісімділігін арттыратынын және қорытынды бағалау нәтижелерін бұрмаламайтынын көрсетті.

Ұсынылған әдістеменің практикалық маңыздылығы ISO/IEC 25010:2023 стандартымен реттелетін барлық негізгі критерийлерді ескере отырып, ақпараттық жүйенің сенімділік деңгейін кешенді түрде анықтау мүмкіндігінде жатыр. Көрнекі әрі түсінікті формада ұсынылатын қорытынды бағалау жүйенің ағымдағы жай-күйін талдауды, әлсіз тұстарын анықтауды және архитектурасы мен мақсаты әртүрлі ақпараттық жүйелерді салыстыруды жеңілдетеді. Бұл әзірленген тәсілді сапаны басқару, жаңғырту және цифрлық жүйелерді дамыту саласындағы шешімдерді қолдауға ыңғайлы құрал етеді.

Жалпы алғанда, ұсынылған әдістеме ақпараттық жүйелердің сенімділігін бағалауға арналған және практикаға бағытталған құрал болып табылады. Бұл жұмыс жаңа алгоритмдер құруды мақсат етпейді, керісінше, қолданыстағы әдістерді қазіргі заман талаптары мен нақты пайдалану жағдайларына бейімделген біртұтас модельге негізді түрде біріктіруді көрсетеді, бұл оның ғылыми және практикалық маңыздылығын айқындайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Advanced risk management software for multi-criteria decision-making in uncertain scenarios / S. Carpitella et al // Computational and Applied Mathematics. – 2025. – vol. 44, art. № 379. <https://doi.org/10.1007/s40314-025-03338-0>.
2. Tworek K. Reliability of information systems in organization in the context of banking sector: Empirical study from Poland / K. Tworek // Cogent Business & Management. – 2018. – vol. 5, № 1. <https://doi.org/10.1080/23311975.2018.1522752>.
3. Dubey S. Reliability assessment of component-based software systems using fuzzy and ANFIS techniques / S. Dubey, J. Bhat // International Journal of Systems Assurance Engineering and Management. – 2017. – vol. 8, № 6. <https://doi.org/10.1007/s13198-017-0602-z>.
4. Foidl H. Integrating software quality models into risk-based testing / H. Foidl, M. Felderer // Software Quality Journal. – 2018. – vol. 26, № 2. <https://doi.org/10.1007/s11219-016-9345-3>.
5. Thakkar N. Data driven MCDM models for reliability-economic-environmental analysis of energy storage based autonomous micro-grid / N. Thakkar, P. Paliwal // Journal of Energy Storage. – 2024. – vol. 81, art. № 110408. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110408>.
6. ISO/IEC, ISO/IEC 25010:2023 – Systems and Software Engineering – Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Product Quality Model. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2023.
7. Tamura Y. Reliability modeling and analysis for open source cloud computing / Y. Tamura, M. Kawakami, S. Yamada // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. – 2013. – vol. 227, № 2. – P. 179-186. <https://doi.org/10.1177/1748006X12475110>.
8. ISO/IEC 9126 quality model for evaluation of student academic portal / E. Budiman et al // Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics. – 2018. – vol. 5, № 5. <https://doi.org/10.11591/eecs.v5i5.1670>.
9. Sun L. A hybrid MCDM approach for evaluating financial performance based on a set of business companies / L. Sun, H. Zheng // Neutrosophic Sets and Systems. – 2025. – vol. 79. P. 1-12. https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol79/iss1/46.
10. Büyüközkan G. Spherical fuzzy sets based integrated DEMATEL, ANP, VIKOR approach and its application for renewable energy selection in Turkey / G. Büyüközkan, Y. Karabulut, F. Göçer // Applied Soft Computing. – 2024. – vol. 158, art. № 111465. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111465>.
11. Etraj P. An integrated DEMATEL and AHP approach for multi-criteria green supplier selection process in public procurement / P. Etraj, J. Jayaprakash // International Journal of Engineering and Technology. – 2017. – vol. 9, № 1. – P. 113-124. <https://doi.org/10.21817/ijet/2017/v9i1/170901414>.
12. An integrated fuzzy-AHP and TOPSIS approach for maintenance policy selection / N. Hemmati et al // International Journal of Quality & Reliability Management, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2018-0283>.
13. Ortíz M.A. A contrast between DEMATEL-ANP and ANP methods for Six Sigma project selection: A case study in the healthcare industry / M.A. Ortíz, H.A. Felizzola, I.S. Nieto // Multidimensional, Multidiscipline and Shared Decision Making in Healthcare and eHealth. – 2021. – vol. 15, suppl. 3. – P. 1-10. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-15-S3-S3>.
14. Mardani A. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – two decades review from 1994 to 2014 / A. Mardani, A. Jusoh, E.K. Zavadskas // Expert Systems with Applications. – 2015. – vol. 42, № 8. – P. 4126-4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>.
15. Hybrid multiple-criteria decision-making methods: A review of applications in engineering / E.K. Zavadskas et al // Scientia Iranica. – 2016. – vol. 23, № 1. – P. 1-20. <https://doi.org/10.24200/sci.2016.2093>.
16. Grote T. Reliability in machine learning / T. Grote, K. Genin, E. Sullivan // Philosophy Compass. – 2024. – vol. 19, № 5. <https://doi.org/10.1111/phc3.12974>.
17. Kumar N. Vehicle accident sub-classification modeling using stacked generalization: A multi-sensor fusion approach / N. Kumar, D. Lohani, D. Acharya // Future Generation Computer Systems. – 2022. – vol. 133. – P. 39-52. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.03.005>.
18. Shaik N.B. XGBoost based enhanced predictive model for handling missing input parameters: A case study on gas turbine / N.B. Shaik, K. Jongkittinarukorn, K. Bingi // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2024. – vol. 10, art. № 100775. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100775>.

19. Vinodh S. Lean Six Sigma project selection using hybrid approach based on fuzzy DEMATEL–ANP–TOPSIS / S. Vinodh, V. Swarnakar // International Journal of Lean Six Sigma. – 2015. – vol. 6, № 4. – P. 313-338. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2014-0041>.
20. Beheshtinia M.A., Omid S. A hybrid MCDM approach for performance evaluation in the banking industry / Beheshtinia M.A., Omid S. // Kybernetes. – 2017. – vol. 46, № 8. – P. 1386-1400. <https://doi.org/10.1108/K-03-2017-0105>.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен, АР 25793823 гранты аясында орындалды.

Н.М. Сисенов, Г.Б. Улюкова*, Д.Ж. Сатыбалдина, А.К. Шайханова

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва

10000 Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2

*e-mail: gulden1590@gmail.com

ГИБРИДНАЯ ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ISO/IEC 25010:2023, MCDM И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Надёжность информационных систем является ключевым условием стабильного функционирования современных цифровых сервисов, особенно в условиях высокой нагрузки и стремительно развивающихся процессов цифровизации. Большинство традиционных подходов опирается на отдельные показатели либо на субъективные экспертные оценки, что ограничивает прозрачность получаемых результатов. В данной статье предлагается гибридная методология, объединяющая модель качества ISO/IEC 25010:2023, методы многокритериального принятия решений (ARAS, CoCoSo, TOPSIS) и машинное обучение для восстановления недостающих данных. Стандарт ISO/IEC 25010:2023 используется для определения структуры качественных атрибутов, связанных с надёжностью, и выбора соответствующих показателей. Метод АНР позволяет на основе экспертных суждений систематически определить веса критериев. Недостающие значения в наборе данных восстанавливаются с помощью алгоритма машинного обучения, что обеспечивает получение полной и согласованной матрицы данных. После подготовки данных надёжность альтернативных информационных систем оценивается с использованием трёх многокритериальных методов. Это повышает устойчивость итогового рейтинга и снижает его чувствительность к изменениям весовых коэффициентов. Предложенная методология была апробирована на четырёх реальных информационных системах с различной архитектурой. Между применяемыми методами была зафиксирована высокая степень согласованности, рейтинги оставались стабильными даже при изменении весов на $\pm 10\%$, а также была подтверждена возможность оценки надёжности в процентном выражении. Данный подход позволяет объективно сравнивать системы, выявлять их слабые стороны и принимать обоснованные решения по их совершенствованию и модернизации.

Ключевые слова: Информационная система, Надёжность, ISO/IEC 25010:2023, Многокритериальный метод, ARAS, CoCoSo, TOPSIS, Машинное обучение.

N. Sissenov, G. Ulyukova*, D. Satybaldina, A. Shaykhanova

L.N. Gumilyov Eurasian National University

10000, Kazakhstan, Astana, Satpaev St., 2

*e-mail: gulden1590@gmail.com

HYBRID RELIABILITY ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEMS USING ISO/IEC 25010:2023, MCDM, AND MACHINE LEARNING

The reliability of information systems is a key prerequisite for the stable operation of modern digital services, especially under high-load conditions and rapidly evolving digitalization processes. Most traditional approaches rely on individual indicators or subjective expert judgments, which limits the transparency of the results obtained. This paper proposes a hybrid methodology that integrates the ISO/IEC 25010:2023 quality model, multicriteria decision-making methods (ARAS, CoCoSo, TOPSIS), and machine learning techniques for imputing missing data. The ISO/IEC 25010:2023 standard is used to define the structure of reliability-related quality attributes and to select appropriate indicators. The AHP method enables a systematic determination of criterion weights based on expert judgments. Missing values in the dataset are restored using a machine learning algorithm, resulting in a complete and consistent data matrix. After data preparation, the reliability of

alternative information systems is evaluated using three multicriteria methods. This increases the robustness of the final ranking and reduces its sensitivity to changes in weighting coefficients. The proposed methodology was tested on four real-world information systems with different architectures. A high degree of consistency was observed among the applied methods; the rankings remained stable even when weights were varied by $\pm 10\%$, and the feasibility of expressing reliability as a percentage was confirmed. This approach enables objective system comparison, identification of weaknesses, and informed decision-making for system improvement and modernization.

Key words: Information system, Reliability, ISO/IEC 25010:2023, Multicriteria method, ARAS, CoCoSo, TOPSIS, Machine learning.

Авторлар туралы мәліметтер

Нурбек Маханбетулы Сисенов – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Ақпараттық қауіпсіздік» кафедрасының аға оқытушысы, Астана қаласы Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: nurbek0692@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1270-8634>.

Гулден Бектемировна Улюкова* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Ақпараттық қауіпсіздік» кафедрасының аға оқытушысы, Астана қаласы Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: gulden1590@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2924-0767>.

Дина Жагипаровна Сатыбалдина – физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ақпараттық қауіпсіздік және криптология» ғылыми-зерттеу институтының директоры, Астана қаласы Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: satybalдина_dzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0291-4685>.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – Информатика, Есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету мамандығы бойынша қауымдастырылған профессор, «Ақпараттық қауіпсіздік» кафедрасының профессоры; Астана қаласы Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6006-4813>.

Сведения об авторах

Нурбек Маханбетулы Сисенов – магистр естественных наук, старший преподаватель кафедры «Информационная безопасность»; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: nurbek0692@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1270-8634>.

Гулден Бектемировна Улюкова* – магистр естественных наук, старший преподаватель кафедры «Информационная безопасность», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: gulden1590@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2924-0767>.

Дина Жагипаровна Сатыбалдина – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, директор научно-исследовательского института «Информационная безопасность и криптология», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: satybalдина_dzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0291-4685>.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – ассоциированный профессор по специальности «Информатика, вычислительная техника и программное обеспечение», профессор кафедры «Информационная безопасность», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6006-4813>.

Information about the authors

Nurbek Sissenov – Master of Natural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information Security; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: nurbek0692@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1270-8634>.

Gulden Ulyukova* – Master of Natural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information Security; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: gulden1590@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2924-0767>.

Dina Satybalдина – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Director of the Research Institute «Information Security and Cryptology», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: satybalдина_dzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0291-4685>.

Aigul Shaykhanova – Associate Professor in the specialty Informatics, Computer Engineering and Software, Professor of the Department of Information Security, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6006-4813>.

Редакцияға енуі 05.01.2026

Жариялауға қабылданды 27.02.2026