

ABSTRACT AND REFERENCES

CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355669

IMPROVING METHODOLOGY FOR ASSESSING ACCIDENT INDICATORS INVOLVING PEDESTRIANS AT RAILROAD PEDESTRIAN CROSSINGS (p. 6–14)**Vitalii Kovalchuk**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>**Yulia Lesiv**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2732-100X>**Ihor Mohyla**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9710-6191>**Andrii Kuzyshyn**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3012-5395>

This study assesses a method for estimating the final accident rate at railroad pedestrian crossings depending on the intensity of train and pedestrian traffic and taking into account the geometric and planning features of the pedestrian crossing and information support.

An improved method for estimating the accident rate at railroad pedestrian crossings has been proposed, taking into account the set of factors influencing the safety of pedestrian traffic when crossing railroad tracks. The method is based on determining the final accident rate, which integrates eight key factors that make it possible to define the level of danger of the crossing according to established standards. The method takes into account the intensity of train and pedestrian traffic, the information and technical equipment of the railroad pedestrian crossing, as well as the planning and geometric parameters of the crossing. It also considers the speed of pedestrians depending on their physiological and age characteristics.

Multivariate modeling of the influence of train and pedestrian traffic intensity on the final accident rate has been carried out; the effectiveness of using information systems for warning pedestrians about the approach of a train in the pedestrian traffic safety system was also assessed.

It was established that the average value of the reduction in the accident rate at railroad pedestrian crossings within the existing railroad crossings depends on the intensity of train and pedestrian traffic. When using an additional information system for warning pedestrians about train traffic, taking into account the influence of train traffic intensity, it is up to 22.1, and taking into account the influence of pedestrian traffic intensity with a constant number of train pairs, it is 27.74. The use of the information system for warning pedestrians about train traffic ensures a reduction in the accident rate of up to 30%. This increases the safety of pedestrian traffic when crossing railroad tracks.

Keywords: railroad crossing, accident rate, pedestrian traffic intensity, train traffic intensity.

References

- Kovalchuk, V. (2024). Problems of ensuring the safety of pedestrian traffic across railway tracks and ways to solve them. Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series "Transport Systems and Technologies", 43, 8–20. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-1>
- Kovalchuk, V., Lesiv, Y. (2024). Devising a method for improving pedestrian traffic safety when crossing railroad tracks by implementing

an information system with a fixed warning time. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (3 (128)), 50–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300168>

- Lesiv, Yu. Z., Kovalchuk, V. V. (2025). Relevance of provision and methods of improving pedestrian traffic safety at railway crossing. Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 1 (287), 83–90. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-83-90>
- Vivek, A. K., Mohapatra, S. S. (2023). An observational study on pedestrian and bicyclist violations at railroad grade crossings: Exploring the impact of geometrical and operational attributes. Journal of Safety Research, 87, 395–406. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.08.011>
- M 218-03450778-652:2008. Metodyka otsinky rivniv bezpeky rukhu na avtomobilnykh dorohakh Ukrainy. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=24959
- Larue, G. S., Watling, C. N. (2022). Prevalence and dynamics of distracted pedestrian behaviour at railway level crossings: Emerging issues. Accident Analysis & Prevention, 165, 106508. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106508>
- Ahmed, J., Robinson, A., Miller, E. E. (2024). Effectiveness of signs for pedestrian-railroad crossings: Colors, shapes, and messaging strategies. Journal of Safety Research, 89, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.01.003>
- Lesiv, Yu. (2024). Zaliznychnyi pishokhidnyi perekhid, yak barier v transportnykh marshrutakh pishokhodiv. Zbirnyk tez I Kyivskoi naukovo – praktychnoi konferentsiyi studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh "Innovatsiyi ta bezpeka na zaliznychnomu transporti: vyklyky ta ryzyky". Kyiv, 58–60. Available at: https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/all-ukrainian-scientific-practical-conferences/collection-10-01-2024.pdf
- Lesiv, Yu. (2024). Aktualnist ta dotsilnist vprovadzhenia terminu: "Zaliznychnyi pishokhidnyi perekhid". Materialy 16-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi studentiv ta molodykh vchenykh imeni H. M. Kirpy "Suchasni transportni tekhnolohiyi". Lviv, 72–75.
- Lesiv, J., Kovalchuk, V. (2025). Assessment of the accident rate coefficient at pedestrian railway crossings. Transport Technologies, 6 (1), 61–72. <https://doi.org/10.23939/tt2025.01.061>
- Vozniak, O. M., Havryliuk, V. I. (2019). Zabezpechennia bezpeky rukhu na zaliznychnykh pereizdakh. Dnipro, 282. Available at: <https://crust.ust.edu.ua/items/a62c8ffc-0951-4c16-a69e-d78ed-47fc7d0>
- Vozniak, O. M. (2015). Otsinka stanu bezpeky rukhu na zaliznychnykh pereizdakh. Elektromahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti, 10, 69–76. Available at: https://www.researchgate.net/publication/311323149_Ocinka_stanu_bezepeki_ruhu_na_zaliznicnih_pereizdah_Evaluation_of_state_of_traffic_safety_on_level_crossings
- Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Husak, M. A., Havrylov, M. O., Luzhyskyi, O. F. (2022). Vehicle Traffic Safety Assessment at the Intersection of Highways and Railways at the Same Level. Science and Transport Progress, 2 (98), 45–58. <https://doi.org/10.15802/stp2022/267978>
- Kurhan, M. B., Luzhyskyi, O. F., Ivanov, R. V., Khmelevskyi, V. S. (2024). Implementation of Innovative Technologies During the Modernization of Existing Level Crossings for High-Speed Train Traffic (N. P. Khmelevska, Trans.). Science and Transport Progress, 1 (105), 62–83. <https://doi.org/10.15802/stp2024/303191>
- Document 32004L0049. DIRECTIVE 2004/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 29 April 2004 on safety on the Community's railways and amending Council Directive 95/18/EC on the licensing of railway undertakings and Directive

- 2001/14/EC on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification (Railway Safety Directive). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/49/oj/eng>
16. Ezsias, L., Brautigam, A., Kocsis Szurke, S., Szalai, S., Fischer, S. (2023). Sustainability in Railways – A Review. *Chemical engineering transactions*, 107. <https://doi.org/10.3303/CET23107002>
 17. Ézsias, L., Tompa, R., Fischer, S. (2024). Investigation of the Possible Correlations between Specific Characteristics of Crushed Stone Aggregates. *Spectrum of Mechanical Engineering and Operational Research*, 1 (1), 10–26. <https://doi.org/10.31181/smeor1120242>
 18. Yang, J., Gauli, N., Shiwakoti, N., Tay, R., Deng, H., Chen, J. et al. (2025). Examining the Factors Influencing Pedestrian Behaviour and Safety: A Review with a Focus on Culturally and Linguistically Diverse Communities. *Sustainability*, 17 (13), 6007. <https://doi.org/10.3390/su17136007>
 19. Magyari, Z., Fischer, S., Koren, C. (2018). Visibility investigations at railway crossings. 14th Miklós Iványi International PhD&DLA Symposium. Available at: https://www.researchgate.net/publication/328860619_Visibility_investigations_at_railway_crossings
 20. Liubarskyi, K., Borshchevskiy, P., Babina, I. (2018). Modern approaches to assessing the vehicle speed at hitting to a pedestrian. *Kryminalityka i sudova ekspertyza*, 63 (2), 3–8. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/kryse_2018_63\(2\)_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/kryse_2018_63(2)_3)
 21. Hawlena-Gądek, T., Wróbel, M. (2020). Intelligent Transport Systems in selected cities in Poland. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 5 (1), 95–105. <https://doi.org/10.22630/eiol.2020.5.1.8>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359355

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MONITORING AND MANAGING CLIMATE-DEPENDENT PROCESS RISKS BASED ON HIDDEN MARKOV MODELS (USING GRAIN CROP YIELDS AS AN EXAMPLE) (p. 15–26)

Dulat Kali

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0564-2267>

Nurzhamal Kashkimbayeva

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6070-876X>

Ayan Kemel

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2074-0942>

Botagoz Mirzagalikova

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9201-855X>

Zhuldyz Basheyeva

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9605-2101>

This study focuses on climate-dependent production processes, in particular grain crop yields, under conditions of climatic variability and uncertainty in Northern Kazakhstan. The problem addressed is the low effectiveness of deterministic risk monitoring approaches due to limited predictive power and the lack of formalized risk criteria, which leads to unreliable decision-making under uncertainty.

The results include the development of a three-state hidden Markov model (S_0 – S_2) and a TO-BE architecture for continuous risk monitoring and decision support. The model enabled the identification of latent climatic regimes and probabilistic assessment of risk states for 2025. The highest probability of an unfavorable regime was observed in Korgalzhyn (61.2%) and Ereymentau (58.8%), while

Arshaly (42.9%) and Zhaksy (38.1%) showed moderate risk levels. The Brier score ranged from 0.106 to 0.199, confirming acceptable calibration of probabilistic estimates.

The key feature of the approach is the representation of climate-dependent processes as transitions between latent probabilistic states, allowing the capture of temporal dependencies (climate memory) and the persistence of unfavorable conditions. Unlike deterministic models, the proposed framework enables dynamic risk tracking through continuously updated probability estimates integrated into a monitoring loop.

The advantage of the approach lies in combining probabilistic modelling with an operational architecture, where risk probabilities serve as formalized decision-support signals. The results can be applied in early warning systems and digital monitoring platforms using remote sensing and IoT.

Keywords: hidden Markov models, probabilistic risk monitoring, TO-BE architecture, process management.

References

1. Karatayev, M., Clarke, M., Salnikov, V., Bekseitova, R., Nizamova, M. (2022). Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: the case study of Kazakhstan. *Heliyon*, 8 (1), e08660. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08660>
2. Teleubay, Z., Yermekov, F., Rustembayev, A., Topayev, S., Zhabayev, A., Tokbergenov, I. et al. (2023). Comparison of Climate Change Effects on Wheat Production under Different Representative Concentration Pathway Scenarios in North Kazakhstan. *Sustainability*, 16 (1), 293. <https://doi.org/10.3390/su16010293>
3. Schauburger, B., Jägermeyr, J., Gornott, C. (2020). A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources. *European Journal of Agronomy*, 120, 126153. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126153>
4. Anderson, W., Shukla, S., Verdin, J., Hoell, A., Justice, C., Barker, B. et al. (2024). Preseason maize and wheat yield forecasts for early warning of crop failure. *Nature Communications*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51555-8>
5. van Klompenburg, T., Kassahun, A., Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>
6. Corcoran, E., Afshar, M., Curceac, S., Lashkari, A., Raza, M. M., Ahnert, S. et al. (2023). Current data and modeling bottlenecks for predicting crop yields in the United Kingdom. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1023169>
7. Ceglar, A., Toreti, A. (2021). Seasonal climate forecast can inform the European agricultural sector well in advance of harvesting. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 4 (1). <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00198-3>
8. Risbey, J. S., Squire, D. T., Black, A. S., DelSole, T., Lepore, C., Matear, R. J. et al. (2021). Standard assessments of climate forecast skill can be misleading. *Nature Communications*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23771-z>
9. Darra, N., Anastasiou, E., Kriezi, O., Lazarou, E., Kalivas, D., Fountas, S. (2023). Can Yield Prediction Be Fully Digitilized? A Systematic Review. *Agronomy*, 13 (9), 2441. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092441>
10. Romanovska, P., Schauburger, B., Gornott, C. (2023). Wheat yields in Kazakhstan can successfully be forecasted using a statistical crop model. *European Journal of Agronomy*, 147, 126843. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126843>
11. Iizumi, T., Shin, Y., Kim, W., Choi, J. (2018). Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble. *Climate Services*, 11, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.cliserv.2018.06.003>

12. Doi, T., Sakurai, G., Iizumi, T. (2020). Seasonal Predictability of Four Major Crop Yields Worldwide by a Hybrid System of Dynamical Climate Prediction and Eco-Physiological Crop-Growth Simulation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00084>
13. Iizumi, T., Takaya, Y., Kim, W., Nakaegawa, T., Maeda, S. (2021). Global Within-Season Yield Anomaly Prediction for Major Crops Derived Using Seasonal Forecasts of Large-Scale Climate Indices and Regional Temperature and Precipitation. *Weather and Forecasting*, 36 (1), 285–299. <https://doi.org/10.1175/waf-d-20-0097.1>
14. Jin, H., Li, M., Hopwood, G., Hochman, Z., Bakar, K. S. (2022). Improving early-season wheat yield forecasts driven by probabilistic seasonal climate forecasts. *Agricultural and Forest Meteorology*, 315, 108832. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108832>
15. Ding, H., Newman, M., Alexander, M. A., Wittenberg, A. T. (2019). Diagnosing Secular Variations in Retrospective ENSO Seasonal Forecast Skill Using CMIP5 Model-Analogs. *Geophysical Research Letters*, 46 (3), 1721–1730. <https://doi.org/10.1029/2018gl080598>
16. Bento, V. A., Russo, A., Dutra, E., Ribeiro, A. F. S., Gouveia, C. M., Trigo, R. M. (2022). Persistence versus dynamical seasonal forecasts of cereal crop yields. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11228-2>
17. Lou, J., Newman, M., Hoell, A. (2023). Multi-decadal variation of ENSO forecast skill since the late 1800s. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 6 (1). <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00417-z>
18. Rahmati, M., Amelung, W., Brogi, C., Dari, J., Flammini, A., Bogena, H. et al. (2024). Soil Moisture Memory: State-Of-The-Art and the Way Forward. *Reviews of Geophysics*, 62 (2). <https://doi.org/10.1029/2023rg000828>
19. O'Connell, E., O'Donnell, G., Koutsoyiannis, D. (2023). On the Spatial Scale Dependence of Long-Term Persistence in Global Annual Precipitation Data and the Hurst Phenomenon. *Water Resources Research*, 59 (4). <https://doi.org/10.1029/2022wr033133>
20. Ho, M., Lall, U., Cook, E. R. (2018). How Wet and Dry Spells Evolve across the Conterminous United States Based on 555 Years of Paleoclimate Data. *Journal of Climate*, 31 (16), 6633–6647. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-18-0182.1>
21. Mehrabi, Z., Ramankutty, N. (2019). Synchronized failure of global crop production. *Nature Ecology & Evolution*, 3 (5), 780–786. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0862-x>
22. Hewamalage, H., Ackermann, K., Bergmeir, C. (2022). Forecast evaluation for data scientists: common pitfalls and best practices. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 37 (2), 788–832. <https://doi.org/10.1007/s10618-022-00894-5>
23. Petropoulos, T., Benos, L., Berruto, R., Miserendino, G., Marinoudi, V., Busato, P. et al. (2025). Interpretable Machine Learning for Legume Yield Prediction Using Satellite Remote Sensing Data. *Applied Sciences*, 15 (13), 7074. <https://doi.org/10.3390/app15137074>
24. Jabed, Md. A., Azmi Murad, M. A. (2024). Crop yield prediction in agriculture: A comprehensive review of machine learning and deep learning approaches, with insights for future research and sustainability. *Heliyon*, 10 (24), e40836. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40836>
25. Gold, D. F., Gupta, R. S., Reed, P. M. (2024). Exploring the Spatially Compounding Multi-Sectoral Drought Vulnerabilities in Colorado's West Slope River Basins. *Earth's Future*, 12 (11). <https://doi.org/10.1029/2024ef004841>
26. Lenssen, N. J. L., Goddard, L., Mason, S. (2020). Seasonal Forecast Skill of ENSO Teleconnection Maps. *Weather and Forecasting*, 35 (6), 2387–2406. <https://doi.org/10.1175/waf-d-19-0235.1>
27. Ryssaliyeva, L., Salnikov, V., Lin, Z., Raimbekova, Z. (2025). Seasonal Sensitivity of Drought Indices in Northern Kazakhstan: A Comparative Evaluation and Selection of Optimal Indicators. *Sustainability*, 17 (21), 9413. <https://doi.org/10.3390/su17219413>
28. Nurgaliyeva, S., Amangali, M., Basheyeva, Z., Kashkimbayeva, N., Amantayev, D. (2025). Design and evaluation of an intelligent waste monitoring system based on RGIS integration for smart cities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (136)), 70–78. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337033>
29. Zhao, Y., Potgieter, A. B., Zhang, M., Wu, B., Hammer, G. L. (2020). Predicting Wheat Yield at the Field Scale by Combining High-Resolution Sentinel-2 Satellite Imagery and Crop Modelling. *Remote Sensing*, 12 (6), 1024. <https://doi.org/10.3390/rs12061024>
30. Becker-Reshef, I., Barker, B., Whitcraft, A., Oliva, P., Mobley, K., Justice, C., Sahajpal, R. (2023). Crop Type Maps for Operational Global Agricultural Monitoring. *Scientific Data*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02047-9>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356832

CONSTRUCTION OF A MODEL FOR THE SYSTEM THAT CONTROLS HOW EDUCATIONAL INSTITUTIONS ARE PROVIDED WITH MATERIAL RESOURCES IN A MULTI-LEVEL MANAGEMENT STRUCTURE (p. 27–36)

Yelnar Utyubayev

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7870-0473>

Anna Shaporeva

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6211-5634>

This study investigates a system that provides educational institutions with material resources within a multi-level governance structure.

The task addressed relates to the lack of a hierarchical, risk-based model for assessing how educational institutions are provided with material resources that would allow for the aggregation of indicators at various management levels. Such a model should account for the standard equipment requirements, equipment operational risks, as well as the hierarchical aggregation of indicators at the educational institution, municipal, and regional levels.

The result of this work is the devised integrated resource provision indicator that takes into account the standard resource sufficiency, equipment depreciation, failure probability, as well as exceedance of the standard service life. A mechanism for aggregating indicators at the educational institution, municipal, and regional levels has been designed.

The model was tested using synthetic data. At the educational institution level, a significant differentiation in the resource provision index was observed, ranging from 0.492 to 0.782. At the municipal level, the lowest value was 0.580 due to the influence of the school with the lowest resource provision index. The regional index value was obtained at 0.663. Its decline was influenced by the uneven distribution of pupils across schools in the region and the significant risk of infrastructure degradation at one school.

The results have confirmed the model's sensitivity to risk components and the capability to identify regional imbalances in provision. The model built can be used to monitor the state of educational infrastructure and support management decision-making.

Keywords: decision support system, multi-level management, educational infrastructure, resource planning.

References

1. Uline, C., Tschannen-Moran, M. (2008). The walls speak: the interplay of quality facilities, school climate, and student achievement.

- Journal of Educational Administration, 46 (1), 55–73. <https://doi.org/10.1108/09578230810849817>
2. Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
 3. Kundelik. Available at: <https://portal.kundelik.kz/ru/v2#about>
 4. BILIMLand. Available at: <https://bilimland.kz/ru?ysclid=mmq-72jvug7642469036>
 5. Li, D.-P., Cheng, S.-J., Cheng, P.-F., Wang, J.-Q., Zhang, H.-Y. (2018). A novel financial risk assessment model for companies based on heterogeneous information and aggregated historical data. *PLOS ONE*, 13 (12), e0208166. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208166>
 6. Taheri, M., Sadegh Amalnick, M., Allah Taleizadeh, A., Mardan, E. (2023). A fuzzy programming model for optimizing the inventory management problem considering financial issues: A case study of the dairy industry. *Expert Systems with Applications*, 221, 119766. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119766>
 7. Ojo, A., Rizun, N., Walsh, G., Mashinchi, M. I., Venosa, M., Rao, M. N. (2024). Prioritising national healthcare service issues from free text feedback – A computational text analysis & predictive modelling approach. *Decision Support Systems*, 181, 114215. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2024.114215>
 8. Wei, X., Zhang, Y., Luo, X. (Robert). (2024). Modeling the evolution of collective overreaction in dynamic online product diffusion networks. *Decision Support Systems*, 181, 114232. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2024.114232>
 9. Shevchuk, E. V. (2025). Designing the architecture of information and educational systems: integration approaches and standards. *Vestnik of M. Kozybayev North Kazakhstan University*, 3 (67), 206–213. <https://doi.org/10.54596/2958-0048-2025-3-206-213>
 10. Kopnova, O., Shaporeva, A., Iklassova, K., Kushumbayev, A., Tadzhigitov, A., Aitymova, A. (2022). Building an information analysis system within a corporate information system for combining and structuring organization data (on the example of a university). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 20–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267893>
 11. Zavadskas, E. K., Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (mcdm) methods in economics: an overview / daugiatiškiai sprendimų priėmimo metodai ekonomikoje: apžvalga. *Technological and Economic Development of Economy*, 17 (2), 397–427. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>
 12. Liao, R., He, Y., Feng, T., Yang, X., Dai, W., Zhang, W. (2023). Mission reliability-driven risk-based predictive maintenance approach of multistate manufacturing system. *Reliability Engineering & System Safety*, 236, 109273. <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109273>
 13. Zio, E. (2009). Reliability engineering: Old problems and new challenges. *Reliability Engineering & System Safety*, 94 (2), 125–141. <https://doi.org/10.1016/j.res.2008.06.002>
 14. Iklassova, K., Aitymova, A., Kopnova, O., Shaporeva, A., Abildinova, G., Nurbekova, Z. et al. (2024). Ontology modeling for automation of questionnaire data processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (131)), 36–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314129>
 15. Iklassova, K. (2024). Towards the development of a decision-making system for indicative planning in higher education institutions. *Vestnik of M. Kozybayev North Kazakhstan University*, 4 (64), 204–212. <https://doi.org/10.54596/2958-0048-2024-4-204-212>
 16. Ruvinskaya, V., Troynina, A. (2017). Development of information technology for the generation and maintenance of knowledge-oriented control systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98727>
 17. Sharma, S., Chen, K., Sheth, A. (2018). Toward Practical Privacy-Preserving Analytics for IoT and Cloud-Based Healthcare Systems.

IEEE Internet Computing, 22 (2), 42–51. <https://doi.org/10.1109/mic.2018.112102519>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357493

IMPROVING THE EFFICIENCY AND ACCURACY OF CLASSIFICATION OF RECIPIENTS OF THE FREE NUTRITION FOOD PROGRAM THROUGH THE APPLICATION OF KNOWLEDGE DISTILLATION IN A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK ALGORITHM (p. 37–45)

Relita Buaton

STMIK Kaputama, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0968-0017>

Mesra Betty Yel

STIKOM Cipta Karya Informatika,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8336-5058>

Novriyenni

STMIK Kaputama, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7511-0149>

Anton Sihombing

STMIK Kaputama, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8652-198X>

Ida Ria Royentina Sidabukke

Universitas Sari Mutiara Indonesia, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6544-3178>

The object of this study is a deep learning-based classification system applied to recipients of the Free Nutritional Food Program, using recipient data as a representation of the eligibility determination process in providing social assistance. The problem to be solved is the high computational complexity of large-capacity convolutional neural networks (CNN) models which, despite their high accuracy, require significant computational resources and are therefore less than optimal for large-scale implementation. To overcome this, this study applies the Knowledge Distillation method, utilizing a large-capacity CNN as the teacher model and a lightweight architecture CNN as the student model through soft label-based knowledge transfer. According to this study, it is shown that the student model generated by distillation is about 90–93% accurate. Also, this figure is very close to that of the teacher model (from 92–95%) and much better than that of a CNN without distillation model (85–88%). This is an improvement since this distillation method can transfer information in the form of richer probabilities than simply hard labels as done do in traditional training. The model proposed in this work has many advantages such as higher accuracy, more compact size, and faster inference times. These features help in making the classification process computationally less intensive. Furthermore, this leads to more efficient memory use and lower energy consumption. These results could be applied in many deep learning classification systems, particularly resource limits devices. Such application is observable in the implementation of Free Nutritious Food Program under real life conditions which requires better accuracy with no loss on efficiency.

Keywords: Food Program, CNN, student distillation model, classification system.

References

1. Arnita, A., Marpaung, F., Koemadji, Z. A., Hidayat, M., Widiyanto, A., Aulia, F. (2023). Selection of Food Identification System Features Using Convolutional Neural Network (CNN) Method. *Scientific Journal of Informatics*, 10 (2), 205–216. <https://doi.org/10.15294/sji.v10i2.44059>

2. Greco, A., Saggese, A., Vento, M., Vigilante, V. (2021). Effective training of convolutional neural networks for age estimation based on knowledge distillation. *Neural Computing and Applications*, 34 (24), 21449–21464. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05981-0>
3. Yang, H., Zhang, Y., Yin, C., Ding, W. (2022). Ultra-lightweight CNN design based on neural architecture search and knowledge distillation: A novel method to build the automatic recognition model of space target ISAR images. *Defence Technology*, 18 (6), 1073–1095. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.04.014>
4. Li, Y., Luo, J., Zhang, J. (2022). Classification of Alzheimer's disease in MRI images using knowledge distillation framework: an investigation. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 17 (7), 1235–1243. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02661-9>
5. Song, H., Yuan, Y., Ouyang, Z., Yang, Y., Xiang, H. (2024). Efficient knowledge distillation for hybrid models: A vision transformer-convolutional neural network to convolutional neural network approach for classifying remote sensing images. *IET Cyber-Systems and Robotics*, 6 (3). <https://doi.org/10.1049/csy2.12120>
6. Cho, J., Lee, M. (2019). Building a Compact Convolutional Neural Network for Embedded Intelligent Sensor Systems Using Group Sparsity and Knowledge Distillation. *Sensors*, 19 (19), 4307. <https://doi.org/10.3390/s19194307>
7. Ding, Z., Yang, C., Hu, B., Guo, M., Li, J., Wang, M. et al. (2024). Lightweight CNN combined with knowledge distillation for the accurate determination of black tea fermentation degree. *Food Research International*, 194, 114929. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114929>
8. Ullah, H., Munir, A. (2023). A 3DCNN-Based Knowledge Distillation Framework for Human Activity Recognition. *Journal of Imaging*, 9 (4), 82. <https://doi.org/10.3390/jimaging9040082>
9. Ji, M., Peng, G., Li, S., Cheng, F., Chen, Z., Li, Z., Du, H. (2022). A neural network compression method based on knowledge-distillation and parameter quantization for the bearing fault diagnosis. *Applied Soft Computing*, 127, 109331. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109331>
10. MohiEldeen Alabbasy, F., Abohamama, A. S., Alrahmawy, M. F. (2023). Compressing medical deep neural network models for edge devices using knowledge distillation. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 35 (7), 101616. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101616>
11. Hinton, G., Vinyals, O., Dean, J. (2015). Distilling The Knowledge In A Neural Network. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.02531>
12. Aghli, N., Ribeiro, E. (2021). Combining Weight Pruning and Knowledge Distillation For CNN Compression. 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 3185–3192. <https://doi.org/10.1109/cvprw53098.2021.00356>
13. Mazlan, A. B., Ng, Y. H., Tan, C. K. (2022). A Fast Indoor Positioning Using a Knowledge-Distilled Convolutional Neural Network (KD-CNN). *IEEE Access*, 10, 65326–65338. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3183113>
14. Chen, W., Gao, L., Li, X., Shen, W. (2022). Lightweight convolutional neural network with knowledge distillation for cervical cells classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103177. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103177>
15. Song, H., Wei, C., Yong, Z. (2023). Efficient knowledge distillation for remote sensing image classification: a CNN-based approach. *International Journal of Web Information Systems*, 20 (2), 129–158. <https://doi.org/10.1108/ijwis-10-2023-0192>
16. Jomaa, L. H., McDonnell, E., Probart, C. (2011). School feeding programs in developing countries: impacts on children's health and educational outcomes. *Nutrition Reviews*, 69 (2), 83–98. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00369.x>
17. Mhurchu, C. N., Gorton, D., Turley, M., Jiang, Y., Michie, J., Maddison, R., Hattie, J. (2012). Effects of a free school breakfast programme on children's attendance, academic achievement and short-term hunger: results from a stepped-wedge, cluster randomised controlled trial. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 67 (3), 257–264. <https://doi.org/10.1136/jech-2012-201540>
18. Raveenthiranathan, L., Ramanarayanan, V., Thankappan, K. (2024). Impact of free school lunch program on nutritional status and academic outcomes among school children in India: A systematic review. *BMJ Open*, 14 (7), e080100. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-080100>
19. Hamdan, F., Al-Jarrah, F. (2024). Nutritional Health and Its Impact on Students' Academic Achievement. *Journal of Educational and Social Research*, 14 (6), 449. <https://doi.org/10.36941/jesr-2024-0185>
20. Salih, M. S., Pasha, S. A. (2024). Utilizing nutritional and lifestyle data for predicting student academic performance: a machine learning approach. *Science Journal of University of Zakho*, 12 (3), 356–360. <https://doi.org/10.25271/sjuoz.2024.12.3.1288>
21. Zarlis, M., Oktavia, T., Buatun, R., Ernawan, F., Andrian, K. (2023). Minimizing the Number of Stunting Prevalence Using the Euclid Algorithm Clustering Approach. 2023 International Conference of Computer Science and Information Technology (ICOSNIKOM), 1–7. <https://doi.org/10.1109/icosnikom60230.2023.10364489>
22. Kirk, D., Kok, E., Tufano, M., Tekinerdogan, B., Feskens, E. J. M., Camps, G. (2022). Machine Learning in Nutrition Research. *Advances in Nutrition*, 13 (6), 2573–2589. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac103>
23. Umirzakova, S., Abdullaev, M., Mardieva, S., Latipova, N., Muksimova, S. (2024). Simplified Knowledge Distillation for Deep Neural Networks Bridging the Performance Gap with a Novel Teacher-Student Architecture. *Electronics*, 13 (22), 4530. <https://doi.org/10.3390/electronics13224530>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355669

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ АВАРІЙНОСТІ ЗА УЧАСТЮ ПІШОХІДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДАХ (с. 6–14)**В. В. Ковальчук, Ю. З. Лесів, І. А. Могила, А. Я. Кузишин**

Об'єктом досліджень є метод оцінювання підсумкового коефіцієнта аварійності на залізничних пішохідних переходах у залежності від інтенсивності руху поїздів і пішоходів та із врахуванням геометрично-планувальних особливостей пішохідного переходу та інформаційного забезпечення. Наведено удосконалений метод оцінювання коефіцієнту аварійності на залізничних пішохідних переходах із урахуванням комплексу факторів впливу на забезпечення безпеки руху пішоходів під час перетину залізничних колій. Метод базується на визначенні підсумкового коефіцієнта аварійності, що інтегрує вісім ключових факторів, що дозволяють визначити рівень небезпеки переходу за встановленими нормами. Метод враховує інтенсивність руху поїздів та пішоходів, інформаційно-технічне облаштування залізничного пішохідного переходу та планувально-геометричні параметри переходу. Також він враховує швидкість руху пішоходів у залежності від їх фізіологічних та вікових особливостей пішоходів.

Проведено багатоваріантне моделювання впливу інтенсивності руху поїздів і пішоходів на підсумковий коефіцієнт аварійності, а також оцінено ефективність застосування інформаційних систем попередження пішоходів про наближення поїзда у системі забезпечення безпеки руху пішоходів.

Встановлено, що середнє значення зменшення коефіцієнта аварійності на залізничних пішохідних переходах у межах існуючих залізничних переїздів залежить від інтенсивності руху поїздів і пішоходів. При застосуванні додаткової інформаційної системи попередження пішохода про рух поїзда, у із врахуванням впливу інтенсивності поїздів, становить до 22,1, а із врахуванням впливу інтенсивності руху пішоходів при сталій кількості пар поїздів складає 27,74. Застосування інформаційної системи попередження пішоходів про рух поїзда забезпечується зменшення показника аварійності до 30%. Це підвищує безпеку руху пішоходів при перетині залізничних колій.

Ключові слова: залізничний перехід, коефіцієнт аварійності, інтенсивність руху пішоходів, інтенсивність руху поїздів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359355

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ КЛІМАТОЗАЛЕЖНИМИ ПРОЦЕСНИМИ РИЗИКАМИ НА ОСНОВІ ПРИХОВАНИХ МАРКОВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ (НА ПРИКЛАДІ ВРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР) (с. 15–26)**Dulat Kali, Nurzhamal Kashkimbayeva, Ayan Kemel, Botagoz Mirzagalikova, Zhuldyz Basheyeva**

Це дослідження зосереджено на кліматично залежних виробничих процесах, зокрема врожайності зернових культур, в умовах кліматичної мінливості та невизначеності в Північному Казахстані. Проблема, що розглядається, полягає в низькій ефективності детерміністичних підходів до моніторингу ризиків через обмежену прогностичну здатність та відсутність формалізованих критеріїв ризику, що призводить до ненадійного прийняття рішень в умовах невизначеності.

Результати включають розробку триетапної прихованої марковської моделі (S_0-S_2) та архітектури ТО-ВЕ для безперервного моніторингу ризиків та підтримки рішень. Модель дозволила ідентифікувати латентні кліматичні режими та ймовірнісну оцінку станів ризику на 2025 рік. Найвища ймовірність несприятливого режиму спостерігалася в Коргалжині (61,2%) та Єрейментау (58,8%), тоді як Аршали (42,9%) та Жакси (38,1%) показали помірний рівень ризику. Оцінка Брієра коливалася від 0,106 до 0,199, що підтверджує прийнятне калібрування ймовірнісних оцінок.

Ключовою особливістю цього підходу є представлення кліматично-залежних процесів як переходів між латентними ймовірнісними станами, що дозволяє фіксувати часові залежності (кліматичну пам'ять) та збереження несприятливих умов. На відміну від детермінованих моделей, запропонована структура дозволяє динамічно відстежувати ризики за допомогою постійно оновлюваних оцінок ймовірності, інтегрованих у цикл моніторингу.

Перевага цього підходу полягає в поєднанні ймовірнісного моделювання з операційною архітектурою, де ймовірності ризику служать формалізованими сигналами підтримки рішень. Результати можуть бути застосовані в системах раннього попередження та цифрових платформах моніторингу з використанням дистанційного зондування та Інтернету речей.

Ключові слова: приховані марковські моделі, ймовірнісний моніторинг ризиків, архітектура ТО-ВЕ, управління процесами.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356832

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЮ ОСВІТНІХ ОРГАНІЗАЦІЙ МАТЕРІАЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ В УМОВАХ БАГАТОРІВНЕВОЇ СТРУКТУРИ УПРАВЛІННЯ (с. 27–36)**Yelnar Utyubayev, Anna Sharopova**

Об'єктом дослідження є система управління забезпеченістю освітніх організацій матеріальними ресурсами в умовах багаторівневої структури управління.

Проблема, що вирішується в дослідженні, полягає у відсутності ієрархічної ризик-орієнтованої моделі оцінювання забезпеченості освітніх організацій матеріальними ресурсами, яка забезпечує агрегування показників на різних рівнях управління. Така модель має враховувати нормативну потребу в обладнанні, експлуатаційні ризики обладнання та ієрархічну агрегацію показників на рівні освітньої організації, муніципалітету та регіону.

У результаті дослідження розроблено інтегральний показник забезпеченості, що враховує нормативну достатність ресурсів, знос обладнання, ймовірність відмов та перевищення нормативного строку експлуатації. Запропоновано механізм агрегування показників на рівні освітньої організації, муніципалітету та регіону.

Апробацію моделі виконано на синтетичних даних. На рівні освітніх організацій спостерігалася виражена диференціація індексу забезпеченості – від 0,492 до 0,782. На муніципальному рівні найменше значення становило 0,580 через вплив закладу з найнижчим індексом забезпеченості. Значення регіонального індексу отримано на рівні 0,663. Його зниження зумовлене нерівномірним розподілом здобувачів освіти між закладами регіону та значним ризиком деградації інфраструктури в одному із закладів. Отримані результати підтвердили чутливість моделі до ризик-компонентів і можливість виявлення територіальних дисбалансів забезпеченості.

Розроблена модель може бути використана для моніторингу стану освітньої інфраструктури та підтримки прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, багаторівневе управління, освітня інфраструктура, планування ресурсів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357493

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ТОЧНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ ОДЕРЖУВАЧІВ ПРОГРАМИ БЕЗКОШТОВНОГО ХАРЧУВАННЯ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТИЛЯЦІЇ ЗНАЇВ В АЛГОРИТМІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 37–45)

Relita Buaton, Mesra Betty Yel, Novriyenni, Anton Sihombing, Ida Ria Royentina Sidabukke

Об'єктом цього дослідження є система класифікації на основі глибокого навчання, що застосовується до одержувачів Програми безкоштовного харчування, використовуючи дані одержувачів як представлення процесу визначення права на отримання соціальної допомоги. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає у високій обчислювальній складності моделей згорткових нейронних мереж (ЗНМ) великої ємності, які, незважаючи на свою високу точність, потребують значних обчислювальних ресурсів і тому є неоптимальними для масштабного впровадження. Щоб подолати цю проблему, у цьому дослідженні застосовується метод дистиляції знань, використовуючи ЗНМ великої ємності як модель вчителя та ЗНМ з легкою архітектурою як модель учня за допомогою м'якої передачі знань на основі м'яких міток. Згідно з цим дослідженням, показано, що модель учня, згенерована шляхом дистиляції, має точність приблизно 90–93%. Крім того, цей показник дуже близький до показника моделі вчителя (від 92 до 95%) і набагато кращий, ніж показник моделі ЗНМ без дистиляції (85–88%). Це є покращенням, оскільки цей метод дистиляції може передавати інформацію у вигляді більш багатих ймовірностей, ніж просто жорсткі мітки, як це робиться в традиційному навчанні. Модель, запропонована в цій роботі, має багато переваг, таких як вища точність, компактніший розмір та швидший час виведення. Ці особливості допомагають зробити процес класифікації менш обчислювально інтенсивним. Крім того, це призводить до ефективнішого використання пам'яті та зниження енергоспоживання. Ці результати можна застосовувати в багатьох системах класифікації глибокого навчання, зокрема в пристроях з обмеженням ресурсів. Таке застосування можна спостерігати в реалізації Програми безкоштовного харчування в реальних умовах, що вимагає кращої точності без втрати ефективності.

Ключові слова: програма харчування, ЗНМ, модель дистиляції студентів, система класифікації.