International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ВЛИЯНИЕ НА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР ВЪРХУ БЕЗОПАСНОСТТА НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИТЕ ОСИГУРИТЕЛНИ СИСТЕМИ

Емилия Димитрова[1], Емил Борисов[1], Васил Димитров[1]

[1]Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
ул.“Гео Милев“ No 158, София 1574, Реп. България
**кореспондиращ автор: vdimitroff@vtu.bg*

IMPACT OF THE HUMAN FACTOR ON THE SAFETY OF RAILWAY SIGNALING SYSTEMS

Emiliya Dimitrova[1], Emil Borisov[1], Vasil Dimitrov[1]

[1]Todor Kableshkov University of Transport – Sofia, 158 "Geo Milev" Str., Sofia, Bulgaria
**Corresponding author: vdimitroff@vtu.bg*

Abstract
Signaling systems meet the highest level of functional safety (Safety Integrity Level SIL 4), where the probability of a dangerous failure is extremely low. The human factor is a key element in this process, as these systems are often complex and require strict control to avoid systematic errors in design, operation and maintenance. In systems with a safety level of SIL 4, the risk analysis must treat the human factor not as a random element, but as a systematic threat that is managed through strict procedures, technological protections, continuous training and iron discipline. The report examines the interaction between human, technical means and work organization from the point of view of the safety of railway signaling systems. The psychophysiological features of the human operator and the characteristics that influence safety are systematized. The factors that influence the reliable operation of the operator are specified. Recommendations have been formulated to enhance the reliability and safety of railway transport, including ergonomic requirements for the human-machine interface. The sources of human error associated with its operation have been analyzed. These studies serve as a basis for developing models of the "Human-Machine-Environment" ergatic system within railway signaling and interlocking systems.

Keywords: Railway transport, signaling systems, safety, reliability, human factor, Human–machine Interface.

ВЪВЕДЕНИЕ

Железопътният транспорт представлява стратегическа транспортна система, характерзираща се с високи изисквания към надеждността, непрекъсваемостта и безопасността на експлоатационните процеси. В условията на нарастваща технологична сложност и ускорено внедряване на автоматизирани системи въпросът за безопасността придобива все по-голямо значение както от техническа, така и от организационна гледна точка.

Осигурителната техника в железопътния транспорт изпълнява ключова функция за предотвратяване на произшествия, управление на движението и ограничаване на риска от човешки и технически грешки [1, 2]. Необходимо е да отговаря на най-високото ниво на функционална безопасност SIL 4 (Safety Integrity Level), при което рискът от опасна повреда намалява с 10 000 и съответства на надеждност при работа на технологичното оборудване по-висока от 99,99%. Независимо от високото ниво на

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

технологично развитие, участието на човека остава определящ компонент при експлоатацията, поддръжката, контрола и вземането на решения.

Практиката показва, че значителна част от инцидентите в транспортния сектор възникват вследствие на комбинация между технически ограничения, организационни пропуски и влияние на човешкия фактор. Професионалната подготовка, нивото на концентрация, умората, комуникацията между отделните звена и спазването на процедурите оказват пряко въздействие върху надеждността на системите за безопасност.

Актуалността на темата произтича от необходимостта от усъвършенстване на механизмите за управление на риска и повишаване устойчивостта на железопътната система чрез по-задълбочено разбиране на човешкото поведение в процесите на експлоатация и контрол.

Целта на настоящия доклад е изследване влиянието на човешкия фактор върху безопасността на осигурителните системи в железопътния транспорт, анализ на взаимодействието „човек–машина“ и формулиране на препоръки за повишаване надеждността и безопасността на железопътните превози.

ЧОВЕШКИЯТ ФАКТОР КАТО ЕЛЕМЕНТ НА СИСТЕМАТА ЗА БЕЗОПАСНОСТ

Безопасността на железопътния транспорт се определя от взаимодействието между техническите средства, организационната структура и човека, който управлява, контролира и поддържа системите. Независимо от непрекъснатото развитие на автоматизираните осигурителни устройства, операторът остава основен участник в процеса на управление на движението.

Съвременните железопътни системи се разглеждат като ергатични системи (фиг. 1), в които човекът и машината функционират съвместно за изпълнение на обща задача. Техническите средства предоставят информация и изпълняват автома тизирани функции, а операторът наблюдава процесите, анализира данните и взема решения.

Ефективността на тази система зависи от съгласуваното функциониране на трите компонента. Нарушаването на който и да е от тях може да доведе до намаляване на безопасността и повишаване на риска от инциденти.

Психофизиологични особености на оператора

Работата на ръководителите движение, влаковите диспечери и техническия персонал изисква висока степен на концентрация, бърза реакция и способност за обработка на големи обеми информация.

Основните психофизиологични характеристики, оказващи влияние върху безопасността, са:

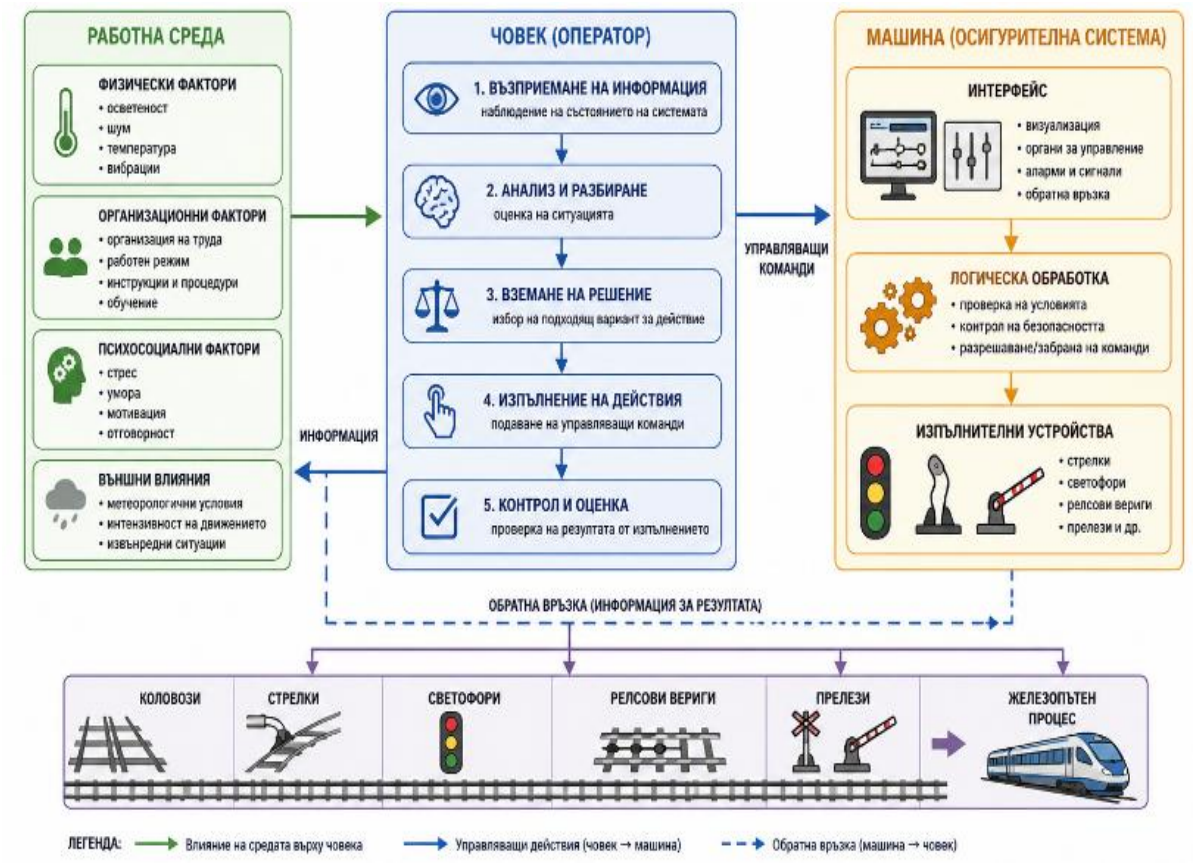
- внимание;
- концентрация;
- памет;
- бързина на реакция;
- способност за логическо мислене;
- устойчивост на стрес;
- професионален опит.

Всяко намаляване на тези показатели увеличава вероятността от допускане на човешка грешка.

Когнитивно натоварване

Под когнитивно натоварване се разбира количеството информация, която операторът трябва да възприеме, обработи и използва при вземане на решение за определен интервал от време. В железопътния транспорт когни-тивното натоварване се определя от:

- броя на наблюдаваните обекти;
- честотата на промените в експлоатационната обстановка;
- времето за реакция;



***Фиг. 1**. Ергатична система „Човек-Машина-Среда“ при жп осигурителни системи*

• броя на едновременно възникналите събития;

• сложността на управляваната инфраструктура.

Изследванията показват, че с увеличаване на скоростта на влаковете и интензивността на движението броят на информационните съобщения, които операторът трябва да обработи, нараства значително, което увеличава риска от грешки.

Работа при дефицит на време

Много от решенията се налага да се вземат в условията на ограничено време. При възникване на откази, закъснения или аварийни ситуации операторът трябва за кратък период да оцени състоянието на инфраструктурата, да избере безопасен вариант за действие и да подаде необходимите команди.

Недостигът на време често води до:

• пропускане на важна информация;

• прибързани решения;

• повишено психическо напрежение;

• увеличена вероятност от човешка грешка.

Поради това съвременните осигурителни системи включват автоматични проверки, които предотвратяват изпълнението на опасни команди.

Стрес и умора

Продължителната работа при високо натоварване оказва съществено влияние върху работоспособността на операторите. Основните източници на стрес са:

• аварийни ситуации;

• голяма интензивност на движението;

• необходимост от непрекъснат контрол;

• висока степен на отговорност.

Умората води до:

• намалена концентрация;

• забавени реакции;

• понижено внимание;

• повишен риск от неправилни действия.

Ето защо управлението на работното време, почивките и периодичният контрол върху психофизиологичното състояние на персонала са важна част от системата за безопасност.

Вземане на решения

Процесът на вземане на решение от оператора включва няколко последователни етапа:

• Получаване на информация.
• Анализ на текущото състояние.
• Оценка на възможните варианти.
• Избор на решение.
• Подаване на управляваща команда.
• Контрол върху изпълнението.

Грешка във всеки един от тези етапи може да доведе до нарушаване на безопасността. Затова интерфейсите на съвременните осигурителни системи са проектирани така, че да подпомагат оператора чрез ясна визуализация, автоматични проверки и своевременна обратна връзка.

Фактори, влияещи върху надеждността на човека-оператор

Надеждността на човека-оператора в структурата на ергатичната система е свързана с вероятността за грешки при изпълнение на задачите. От нея се определя професионалната пригодност на операторите [3]. Тя е зависеща от множество взаимосвързани фактори, които могат да бъдат групирани в четири основни категории (Табл. 1).

Взаимодействието между тези фактори определя вероятността операторът да изпълни правилно поставените задачи.

Табл. 1. *Фактори, влияещи върху надеждността на човека-оператор*

Група фактори	Примери
Личностни	квалификация, опит, здравословно състояние, мотивация
Организационни	работен режим, обучение, процедури, контрол
Технически	качество на интерфейса, надеждност на техниката, автоматизация
Обкръжаваща среда	шум, осветление, температура, вибрации

Ефективността на дейността зависи от съгласуваното функциониране на четирите компонента. Нарушаването на който и да е от тях може да доведе до намаляване на безопасността и повишаване на риска от инциденти.

ЧОВЕКО-МАШИНЕН ИНТЕРФЕЙС В ОСИГУРИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ

Човеко-машинният интерфейс (Human–Machine Interface – HMI) представлява съвкупност от технически средства, програмно осигуряване и организационни решения, чрез които операторът осъществява взаимодействие с осигурителната техника. Интерфейсът осигурява обмен на информация между човека и техническата система, като позволява наблюдение на текущото състояние, подаване на команди, приемане на обратна информация и контрол върху изпълнението на технологичните процеси [4, 5].

В железопътния транспорт интерфейсът има критично значение, тъй като чрез него се управляват процеси, пряко свързани с безопасността на движението. Ефективността на взаимодействието зависи не само от техническите характеристики на системата, но и от начина, по който информацията се представя на оператора. Добре проектираният интерфейс осигурява бързото възприемане на информацията, намалява вероятността от човешка грешка и подпомага вземането на правилни решения в условия на ограничено време.

Структура на HMI

В най-общ вид човеко-машинният интерфейс при железопътните осигурителни системи включва няколко взаимосвързани елемента:

• оператор (ръководител движение, влаков диспечер и др.);
• средства за визуализация и управление;
• осигурителна техника и системи;
• железопътна инфраструктура;
• технологичен процес;
• информационна и управляваща обратна връзка.

Информацията преминава двупосочно между човека и техническата система. Операторът получава данни за състоянието на инфраструктурата, анализира ги и взема решения. След подаване на управляваща команда системата проверява допустимостта на действието и при изпълнение връща информация за получения резултат. Така се формира непрекъснат цикъл на управление и контрол.

Информационни потоци

Основната функция на интерфейса е осигуряването на надежден обмен на информация. В железопътните осигурителни системи информационните потоци могат да бъдат разделени на:

• входяща информация за състоянието на обектите;

• изходящи управляващи команди;

• диагностична информация;

• аварийни съобщения, аларми;

• предупредителни сигнали.

Входящата информация включва данни за свободност на коловозите, положение на стрелките, състояние на сигналите, наличие на откази и предупредителни съобщения. След обработката на тази информация операторът подава управляващи команди, които преминават през логиката на осигурителната система. Преди изпълнението им автоматично се проверява дали са изпълнени всички условия за безопасност.

Роля на оператора в процеса на управление

Независимо от широкото навлизане на автоматизацията, операторът продължава да бъде централният елемент в процеса на управление. Неговите основни функции включват:

• наблюдение на технологичния процес;

• анализ на постъпващата информация;

• оценка на възникналите ситуации;

• избор на подходящо решение;

• подаване на управляващи команди;

• контрол върху изпълнението им.

При нормален режим на работа операторът изпълнява предимно контролни функции. В аварийни ситуации неговата роля значително нараства, тъй като се изисква бърза оценка на обстановката и предприемане на адекватни действия за предотвратяване на опасни последици.

Ергономични изисквания към интерфейса

Ефективността на HMI зависи в голяма степен от неговите ергономични характеристики. Добрата ергономична организация намалява натоварването на оператора и ограничава вероятността от допускане на грешки:

• ясно визуализиране на състоянието на системата;

• еднозначно представяне на сигналите;

• стандартизирани символи и цветове;

• логическо разположение на органите за управление;

• минимален брой действия при изпълнение на критични операции;

• недопускане на двусмислено тълкуване на информацията.

Източници на човешки грешки при работа с интерфейса

Част от човешките грешки възникват именно при взаимодействието между оператора и интерфейса. Най-често срещаните причини са:

• информационно претоварване;

• недостатъчна визуална яснота;

• неправилно разположение на органите за управление;

• липса на своевременна обратна връзка;

• голям брой едновременно възникващи събития;

• работа при голямо психическо натоварване;

• умора и продължителна концентрация.

С увеличаване на натоварването вероятността от неправилно възприе-мане на информацията и вземане на погрешно решение нараства. Това налага интер-

фейсът да бъде проектиран така, че да подпомага оператора и да минимизира риска от грешки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е изследвано взаимодействието между човека, техническите средства и организацията на работа от гледна точка на безопасността на железопътните осигурителни системи. Систематизирани са психофизиологичните особености на човека-оператор и характеристиките, оказващи влияние върху безопасността, конкретизирани са факторите, влияещи върху надеждната работа на оператора. Човешките грешки не могат да бъдат напълно елиминирани, но тяхното влияние може значително да се ограничи чрез съчетаване на надежден интерфейс, ефективни организационни мерки, ергономично проектиране, непрекъснато обучение и съвременни методи за количествен анализ.

Изследванията са основа за разработване на модели на ергатичната система „Човек-Машина-Среда“ при железопътни осигурителни системи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Pop, I.; Festila, C. Railway Safety, from a Set of Rules to Cyber Physical Systems. IEEE Int. Conf. AQTR-2024, Cluj-Napoca, Romania, Proceedings, pp. 1–4, 2024. https://doi.org/10.1109/AQTR61889.2024.10554189

[2] Efanov, D.V.; Osadchy, G.V.; Aganov, I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring. 11th IEEE Int. Conf. IDAACS-2021, Cracow, Poland, Proceedings, pp. 391–396, 2021. https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9660985

[3] Hubenova, Z. , Gergov, V. Human factor issue in assessing the effectiveness of functioning of sophisticated ergatic systems, 9th Sc. Conf. “Space, Ecology, Safety” (SES-2013), Sofia, Proceedings, pp. 231-236, 2013

[4] Atanasov, I., Dimitrova, D., Pencheva, E. Fault Management of Railway Cloud Resources as a Service. CCCE 2025. Communications in Computer and Information Science, vol 2642. Springer, Cham., 2025 https://doi.org/10.1007/978-3-032-06757-9_7

[5] Efanov, D.V.; Khóroshev, V.V.; Osadchy, G.V. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways. Int. Conf. ICIEAM-2023, Sochi, Russia, Proceedings, pp. 634–638, 2023. https://doi.org/10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.