

Съпоставителен анализ на методи за анализ на надеждността на човека с помощта на данни от различни симулатори на ЯЕЦ

Георги Петков, Калин Филипов, Лазар Лазаров, Коста Стойчев, Владимир Велев,
Александър Григоров, Димитър Попов

Резюме

Статията представя международния и българския опит при оценяването на методите, моделите и подходите за анализ на надеждността на човека и тяхното валидиране и верифициране чрез съпоставителен анализ с помощта на данни от различни симулатори на ЯЕЦ. Описани са организацията, състоянието, методологията и перспективите на изследванията.

Benchmarking HRA Methods Against Different NPP Simulator Data
Gueorgui Petkov, Kalin Filipov, Lazar Lazarov, Kosta Stoichev, Vladimir Velev,
Alexander Grigorov, Dimiter Popov

The paper presents both international and Bulgarian experience in assessing HRA methods, underlying models approaches for their validation and verification by benchmarking HRA methods against different NPP simulator data. The organization, status, methodology and outlooks of the studies are described.

Увод

Съществува голямо разнообразие от методи за Анализ на надеждността на човека (АНЧ), които се използват във вероятностния анализ на безопасността (ВАБ). Затова от голям интерес е сравняването на методите, моделите и техните резултати, което в крайна сметка трябва да доведе до валидиране и верифициране на съществуващите подходи. За тази цел в България и по света се разработват и изпълняват различни проекти за съпоставителен анализ на методите за АНЧ с помощта на данни от различни симулатори на ЯЕЦ [1÷11].

Съпоставителният анализ (benchmarking) е процес на сравняване на методите (процесите, моделите или процедурите) с определен еталон. Той е опит за подобряване на стандарта на метода, който да доведе до подобряване на качеството на анализа (системата, продукта, обслужването и т.н.).

Статията обобщава българския и международния опит за съпоставителен анализ на методите за АНЧ с помощта на данни от симулатори на ЯЕЦ, като представя методологиите, получените резултати, плановете и усилията, насочени към разбирането на начина за извършване на анализа с методите за АНЧ, техните силни и слаби страни. В редица статии се описват подробно дизайнът и резултатите от пилотните изследвания [1÷12].

Международно емпирично изследване на методи за АНЧ

В международното емпирично изследване се оценява приложимостта на множество методи за АНЧ чрез сравняване на резултатите от използването на методите при анализиране на събития с човешка грешка (СЧГ). Емпиричните данни са получени чрез проиграване на определени аварийни сценарии на симулатор на ЯЕЦ с реактор под налягане. Предсказаните резултати от методите за АНЧ се сравняват на основата на наблюдаваните изпълнения на лицензирани операторски екипи в симулирани аварийни сценарии в Лабораторията за изследване на човеко-машинното взаимодействие на Института за енергийни технологии, Норвегия, към Проекта за реактора Халден на Организацията за икономическо сътрудничество и развитие (ОИСР).

Целите на емпиричното изследване са:

- 1) разбиране на начина на извършване на анализ с методите;
- 2) проверка на точността и надеждността на предсказаните резултати с методите за АНЧ;
- 3) установяване на техните силни и слаби страни;
- 4) откриване на начини за подобряване на методите и тяхното приложение.

Ключовите аспекти на изследването са три:

- дизайн на сценариите, събирането и анализа на експерименталните данни;
- предсказващи анализи с различни методи за АНЧ;
- подходи за сравняване на предсказаните и наблюдаваните резултати.

Очаква се резултатите от това изследване да осигурят техническа база за подбор на подходящите методи, за разработване на подобро ръководство за АНЧ и за усъвършенстване на методите. В допълнение към водещата роля на Проекта за реактора Халден на ОИСР, ключови роли играят също така и организациите от десет страни, които участват в изследването като представители на индустрията, регулаторите и изследователите. В частност, Комисията за ядрено регулиране на САЩ играе основна роля за осигуряване на подготовката и изпълнението на изследването.

Емпиричното изследване е фокусирано върху АНЧ на действията на персонала на блочния щит за управление (БЩУ), които се изискват в отговор на инициализиращи събития (ИЕ) във ВАБ. Общата схема на изследването, състоящо се от четири задачи на най-високо йерархично ниво, е представена на Фигура 1 [6]. Тези задачи са:

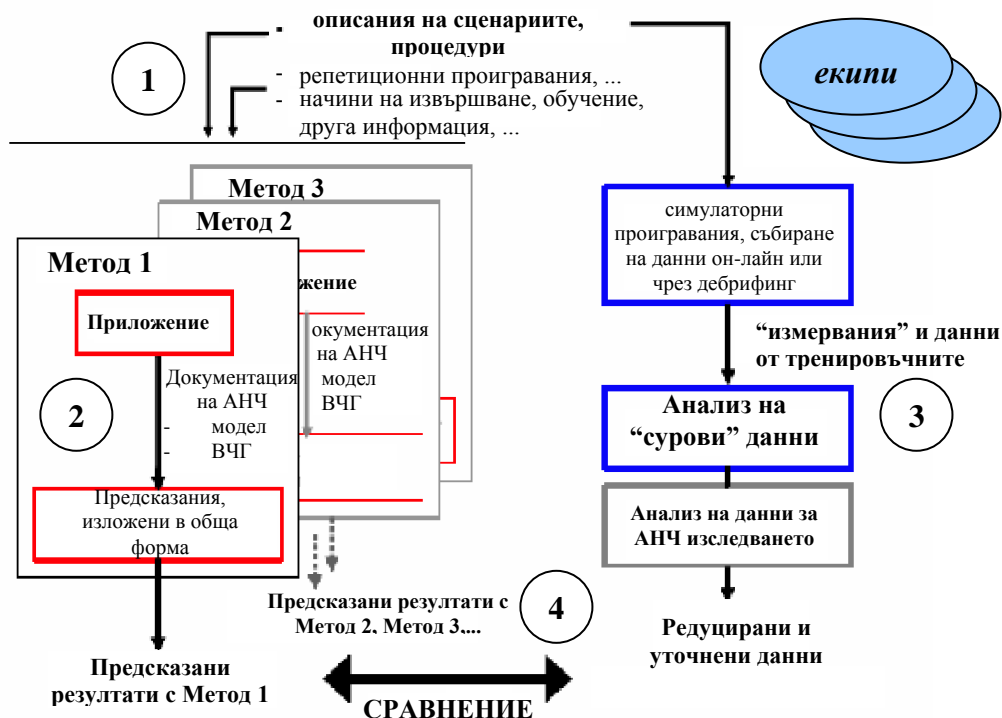
Задача 1. Определяне на сценариите и СЧГ за анализиране.

Задача 2. Анализ на СЧГ с методите за АНЧ, които предсказват вероятностите за човешка грешка (ВЧГ). Той изисква информация за контекста на човешкото изпълнение.

Задача 3. Изпълнение на симулаторните експерименти, събиране и анализ на данните за АНЧ, както и на емпирични или начални данни за съпоставителния анализ (benchmarking).

- Изпълнение на симулаторния експеримент, в който операторските екипи реагират на сценариите, докато се събират данните от наблюдението и другите данни;
- Етап на първия анализ на данните с цел интерпретирането им, за да се даде цялостно обяснение на изпълненията на екипите;
- Анализ на данните, насочен към подобряване на АНЧ, натрупване на извадка от изпълнения на екипите, за да се характеризира общото ниво на изпълнението, отнасящо се за всяко СЧГ и позитивните и негативни драйвъри на изпълнението.

Задача 4. Сравнение на предсказаните ВЧГ с наблюдаваните ВЧГ (емпиричните данни). Това изисква предсказваните резултати (ВЧГ) да се излагат по начин, който е съвместим с нивото на анализа на емпиричните резултати.



Фигура 1. Обща схема за провеждане на емпиричното изследване за АНЧ.

Структурирането на емпиричното изследване е показано в Таблица 1.

Таблица 1

Етапи на международното емпирично изследване на методите за АНЧ [6]

Етап, срок	Задачи
Пилотно изследване на първия етап (2007 – март 2008)	- използване на данни от първото множество от сценарии: два варианта на авария “Скъсване на тръбичка в ПГ” (СТПГ); - установяване на методологията и получаване на някакви предварителни резултати с методите за АНЧ; - издаден доклад.
Пилотно изследване на втория етап (пролет на 2008)	- анализ на данните и сравнение на останалите СЧГ в сценариите на аварията СТПГ; - общи резултати на изследването за сценарии със СТПГ; - пилотно изследване на методологията за сравняване и оценяване на количествените резултати от АНЧ (ВЧГ).
Пилотно изследване на третия етап (2008 – март 2009)	- втори набор от сценарии (2 варианта на сценария “Загуба на подхранваща вода” (ЗПВ); - етапът ще бъде докладван през 2009.

Пилотното изследване на първият етап на емпиричното изследване, изпълнено през 2007г., е било насочено главно към установяване на методологията. Някои от ключовите аспекти за проверяване чрез включване в информационния пакет и информационното взаимодействие между екипите за АНЧ са анализ на данните за АНЧ и подхода за качествено сравняване. Дванадесет екипа са участвали в това пилотно изследване. Тези екипи и използваните от тях методи за АНЧ са показани в Таблица 2.

Събиране на данни за изследване на методи за АНЧ в България

В България са предложени три проекта за събиране на данни от симулатори на ЯЕЦ и за съпоставителният им анализ със следните методи за АНЧ – THERP, HCR (Human Cognitive Reliability), HEART, HDT (Holistic Decision Tree) и Оценка на работата на екип (OPE) [2].

Първият проект се провежда в ТУ-София (кат. ТЯЕ на ЕМФ), в рамките на изследването “Разработване на програма за обучение, система за събиране на данни и оценка на действията на студенти на компютърен симулатор на ЯЕЦ с ВВЕР”¹. Целите на проекта са:

- 1) Да се разработи програма за обучение (9 лабораторни упражнения, Таблица 3) на студентите по ядрена енергетика (магистърска степен),

¹ Това изследване и представената статия се финансират от фонд “Научни изследвания” на Министерството на образованието и науката на Република България по проект № ВУ-И-308/2007г.

- която да дава възможност за проиграване на симулатора на различни сценарии от нормалната и аварийната експлоатация на ЯЕЦ;
- 2) Да се съберат данни от обучението на студентите на симулатора, да се направи количествена оценка на студентските знания и умения, индивидуалното им поведение и изпълнение на основата на съпоставителен анализ на данните от симулатора с два метода за АНЧ:
 - Оценка на работата на екип (ОРЕ) и
 - Холистично дърво на решенията (ХДР);
 - 3) Да се развият способностите на студентите за вземане на решение в условията на стрес и опасност.

Таблица 2

Методи за АНЧ в пилотното изследване на първият етап [6]

Метод за АНЧ	Изследователски екипи
Technique for Human Error Rate Prediction (<i>THERP</i>)	Екип 1 на Комисията за ядрено регулиране (NRC) и консултанти, САЩ
<i>THERP с Бейсово усилване</i>	Технически изследователски център VTT, Финландия
<i>Standardized Plant Analysis Risk-Human (SPAR-H)</i>	Екип 2 на NRC, Националната техническа лаборатория в Айдахо (INEL) и консултанти, САЩ
<i>A Technique for Human Event Analysis (ATHEANA)</i>	Екип 3 на NRC и консултанти, САЩ
<i>Cause-Based Decision Tree (CBDT)</i>	Електро-енергетически изследователски институт (EPRI & Scientech), САЩ
<i>Decision Tree + Accident Sequence Evaluation Procedure (DT+ASEP)</i>	Ядрен изследователски институт (NRI), Чехия
<i>Method of Evaluation and Realization of Missions of Operator of Safety (MERMOS)</i>	Електроенергетика на Франция (EDF), Франция
<i>PANAME</i>	Институт за радиологична защита и ядрена безопасност (IRSN), Франция
<i>Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)</i>	ЯЕЦ "Ватенфол" и "Рингхолс" (Vattenfall & Ringhalls NPP), Швеция
<i>Korean Human Reliability Analysis (KHRA)</i>	Корейски изследователски институт за атомна енергия (KAERI), Корея
<i>Computerised Operator Reliability and Error Database (CREAM)</i>	Ядрен изследователски институт (NRI), Чехия
<i>Commission Errors Search and Assessment (ACESA)</i>	Институт "Паул Шрьорер" (PSI), Швейцария

Таблица 3

Списък на сценариите на лабораторни упражнения

- 1) Пуск на ЯЕЦ с ВВЕР-1000;

- 2) Планово спиране на ЯЕЦ с ВВЕР-1000;
- 3) Аварийно спиране на ЯЕЦ с ВВЕР-1000 при авария "Загуба на подхранваща вода";
- 4) Аварийно спиране на турбогенератор;
- 5) Авария: "Скъсване на тръбичка в парогенератор";
- 6) Авария: "Скъсване на главен паропровод в херметичната зона";
- 7) Авария: "Пълно обезточване";
- 8) Авария: "Малък теч от първи контур";
- 9) Авария: "Голям теч от първи контур."

Методът ОРЕ е български метод за АНЧ, който е перспективен за оценка на поведението на екипи от оператори на сложни човеко-машинни системи.

Методът ХДР е прилаган в САЩ (за екипи на ЯЕЦ и NASA), Унгария, Русия, Франция и Швейцария за събиране на данни и АНЧ за действия на симулатори.

Вторият проект ще се финансира от Международната Агенция за Атомна Енергия (МААЕ). Той включва съпоставителен анализ на методите за АНЧ THERP, HCR, HEART, HDT и OPE с данни, получени на пълномасщабния симулатор (ПМС-1000) за реактори ВВЕР-1000 в учебно-тренировъчния център (УТЦ) на АЕЦ "Козлодуй". Проектът трябва да се изпълнява в ТУ-София (кат. ТЯЕ) и ПМС-1000 на УТЦ на АЕЦ "Козлодуй" в рамките на изследването "IAEA CRP J72004: Probabilistic safety assessment of nuclear facilities in relation to external events" ("ВАБ на ядрени инсталации във връзка с външни събития"). За съжаление, вече повече от 3 години този проект се отлага от МААЕ.

Третият проект също трябва да обхваща съпоставителен анализ на горните 5 метода. Тези методи са използвани във ВАБ на АЕЦ "Козлодуй" (THERP и HCR) или се използват в друг проект в България (OPE и HDT). По тях са провеждани курсове за обучение в УТЦ (HEART с OPE). Финансирането на този проект е още в период на преговори.

В период на преговори е и присъединяването на ТУ-София, чрез изследователски екип с метода OPE, към третия етап на международното емпирично изследване на методи за АНЧ.

Изводи

Използването на данни от симулатори на ЯЕЦ за съпоставителен анализ с методите за АНЧ дава възможност да се постигнат заедно няколко цели:

- 1) да се подобри обучението на студенти и оператори на ЯЕЦ;
- 2) да се осигури ефективното използване на симулаторите на ЯЕЦ за приложни и научни задачи;
- 3) да се подбере най-подходящият метод за АНЧ, който да се използва в обновяването на ВАБ;
- 4) да се разшири и задълбочи сътрудничеството в тази област.

Литература

1. Petkov, G., 2007, 'Retrospective Operators' Performance Monitoring and Data-mining', X International Conference "NPP Safety and Personnel Training", Obninsk, Russia, October 1-4, 2007, pp.88-89, ISBN-5-89075-028-3 (presentation in Russian).
2. Petkov, G., 2008, 'Validation and Verification of HRA Methods by Nuclear Power Plant Simulator Exercises,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0302], p.159, 8 pages.
http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Mon_1-3/D2_1330_1500/Validation_and_Verification_of_HRA_Methods_by_NPP_Simulator_Exercises.pdf
3. Forester, J.A., Dang, V.N., and Lois, E., 2008, 'Defining the HRA Analysis Task in HRA Method Benchmarking – Approaches and Outcomes in the International Empirical Study,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0406], p.171, 8 pages.
http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Tue_4-6/D5_1330-1500/Defining_the_HRA_Analysis_Task_in_HRA_Method_Benchmarking.pdf
4. Broberg, H., Braarud, P. Ø. and Massaiu, S., 2008, 'The International Human Reliability Analysis Empirical Study: Simulator Scenarios, Data Collection and Identification of Human Failure Events,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0430], p.172, 8 pages.
5. Forester, J.A., Dang, V.N., Bye, A., Lois, E., Parry, G.W., and Julius, J., 2008, 'Benchmarking Human Reliability (HRA) Methods Against Simulator Data – Method for the Comparison,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0407], p.173, 7 pages.
6. Dang, V.N., Bye, A., Lois, E., Forester, J.A., and Braarud, P.Ø., 2008, 'Benchmarking HRA Methods Against Simulator Data – Design and Organization of the Halden Empirical Study,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0360], p.170, 8 pages.
7. Dang, V.N., Forester, J.A., Bye, A., Lois, E., Broberg, H., Parry, G.W., and Julius, J., 2008, 'Results from a Pilot Benchmarking Study of HRA Methods – A Comparison of Method Predictions Against the Outcomes Observed in the Simulator Study,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0361], p.186, 8 pages.
http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D8_1330-1500/Results_From_A_Pilot_Benchmarking_Study_Of_HRA_Methods.pdf
8. Parry, G.W., Lois, E., Forester, J.A., Dang, V.N., Julius, J., Bye, A., 2008, 'Insights from Comparison of HRA Method Predictions with Empirical Data on Human Performance in Accident Scenarios,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0259], p.187, 7 pages.

[http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D8_1330-1500/Insights from Comparison of HRA Method Predictions with Empirical Data on Human Performance in Accident Scenarios.pdf](http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D8_1330-1500/Insights_from_Comparison_of_HRA_Method_Predictions_with_Empirical_Data_on_Human_Performance_in_Accident_Scenarios.pdf)

9. Pesme, H., Le Bot, P., and Meyer, P., 2008, 'HRA Insights from the "International Empirical Study in 2007: the EDF Point of View,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0425], p.188, 8 pages.

10. Broberg, H., Hildebrandt, M., Massaiu, S., Braarud, P.Ø., and Johansson, B., 2008, 'The International Empirical Study: Experimental Results and Insights into Performance Shaping Factors,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0429], p.185, 8 pages.

[http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D8_1330-1500/The International HRA Empirical Study Experimental Results and Insights into Performance Shaping Factors.pdf](http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D8_1330-1500/The_International_HRA_Empirical_Study_Experimental_Results_and_Insights_into_Performance_Shaping_Factors.pdf)

11. Holmberg, J.-E., Bladh, K., Oxstrand, J., and Pay., P., 2008, 'The Application of the Enhanced Bayesian THERP in the HRA Empirical Study Using Simulator Data,' Proceedings of the PSAM'9 Conference, Hong Kong, China, May 18-23, 2008, [PSAM-0180], p.190, 7 pages.

[http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D9_1520-1650/The Application of the Enhanced Bayesian THERP in the HRA Methods Empirical Study Using Simulator Data.pdf](http://psam9.zapto.org/psam9/Presentations/Parallel_Session/D_Harbour_III/Wed_7-9/D9_1520-1650/The_Application_of_the_Enhanced_Bayesian_THERP_in_the_HRA_Methods_Empirical_Study_Using_Simulator_Data.pdf)

12. Spurgin, A.J. and Petkov, G.I., 2006, 'Power Plant Simulators: Data Collection and Insights from Data', Journal of Safety and Reliability *'Human Performance Data Collection Edition'*, Vol. 26, No. 2, Summer 2006, p. 47-67, ISSN 0961 – 7353.

Автори: доц. д-р инж. Георги Петков, ТУ-София, тел. 965 22 51, e-mail: gjp@tu-sofia.bg; ст. ас. инж. Калин Филипов, ТУ-София, тел. 965 22 97, e-mail: filipov@tu-sofia.bg; инж. Лазар Лазаров, главен инструктор на ПМС-1000, УТЦ на АЕЦ"Козлодуй"; инж. Коста Стойчев, инструктор на ПМС-1000, УТЦ на АЕЦ"Козлодуй"; доц. д-р инж. Владимир Велев, ТУ-София, тел. 965 22 97, e-mail: v.velev@tu-sofia.bg; доц. д-р инж. Александър Григоров, ТУ-София, тел. 965 22 53, e-mail: grigorov@tu-sofia.bg; доц. д-р инж. Димитър Попов, ТУ-София, тел. 965 23 03, e-mail: dpopov@tu-sofia.bg.