

ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАТОРІВ ЯК ЧИННИК АВАРІЙНОСТІ

Олексій Володимирович Шевяков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8348-1935>

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Вступ. З розвитком та ускладненням техніки зростає значення людського фактора на виробництві. Необхідність вивчення цього фактора (тобто фізіологічних, психологічних, психофізіологічних можливостей людини) при розробці та вдосконаленні технологічних процесів, при організації виробництва та експлуатації людино-машинних систем стає очевидною. Від успішності вирішення цього завдання залежить ефективність та надійність створюваної техніки [1]. Зростання ролі людини та масштабів сфери психофізіологічної активності суб'єкта-професіонала в галузі техніки походить від індивідуальної активності до міжособистісних взаємодій фахівців та їх соціальної активності [2, 3].

Аналізуючи найзагальніші компоненти діяльності оператора енергоблоку АЕС, ми ставили за мету конкретизацію концептуальної моделі керованого процесу, яка дає оператору можливість співвіднести різні частини технологічного процесу загалом та діяти ефективно. Надійність діяльності оператора у різних ситуаціях забезпечується сформованістю окремих концептуальних моделей діяльності.

Розгляд уявних моделей оперативного персоналу АЕС зазвичай уявляється так: устаткування АЕС – це інформаційний простір, де у часовому режимі різних експлуатаційних ситуацій розгортається прояв технологічного процесу. Мисленнєва модель обладнання АЕС має просторово-часові характеристики уявних процесів. Уявно оператор може представити реактор, турбіну або будь-яке інше обладнання в згорнутому або розгорнутому вигляді.

Нині аварійність з вини операторського персоналу АЕС значно зросла: у низці виробничих енергетичних об'єднань кожна друга аварія викликана неправильними діями персоналу. При традиційному підході до аналізу аварій справжні причини нерідко залишаються нез'ясованими, а розроблені протиаварійні заходи – неефективними. Це зумовлено тим, що зазвичай детальному аналізу піддаються оперативні ситуації напередодні аварії, неправильні дії оператора, які безпосередньо призвели до аварії або посилили її розвиток, а також супутні обставини. Сам оператор, який перебував на робочому місці, його психологічні та психофізіологічні характеристики, як правило, залишаються поза увагою. Тим часом безліч фактів свідчать про

можливість розвитку несвідомих психоемоційних реакцій операторів АЕС у процесі діяльності, що нерідко призводить до розвитку помилок управління, передаварійних та аварійних ситуацій. Зокрема, оператори АЕС подвійно оцінюють успішність виконуваних ними дій: з точки зору актуальної успішності (як дія реально протікає) і потенційної успішності (як хотілося б, щоб вона протікала). Друга оцінка пов'язана із системоутворюючим фактором – орієнтацією на майбутній результат дії.

Мета та задачі – визначення особливостей операторської діяльності та провідних факторів формування її психофізіологічної напруженості у фахівців атомних електростанцій. Завданням дослідження була апробація методичного підходу до діагностики психофізіологічного стану та отримання критеріїв сформованості складових такого стану у операторів атомної електростанції.

Матеріали і методи. Дослідження здійснювалось в упродовж 2020–2022 років на базі Хмельницької атомної електростанції (ХАЕС) України. Для з'ясування специфіки діяльності автором здійснено контент-аналіз посадових інструкцій провідних інженерів-операторів з управління, а також складання та аналіз ергономічних контрольних карток.

Проведено спеціальні дослідження, які мали на меті отримання емпіричного матеріалу про процес, засоби та умови діяльності, а також про психофізіологічний стан операторів у реальному масштабі часу, для чого було визначено кілька окремих завдань:

- 1) дослідження динаміки реактивної тривожності (за Спілбергером-Ханінім);
- 2) вивчення динаміки самопочуття, активності, настрою (методика САН);
- 3) вивчення стійкості концентрації уваги операторів протягом зміни (коректурна проба Бурдона).
- 4) дослідження динаміки фізіологічних та психофізіологічних показників (тривалість кардіоінтервалів, артеріальний тиск, латентні періоди сенсомоторних реакцій, критична частота злиття світлових миготінь (КЧЗСМ), динамометрія).

Було обстежено операторів блочного щита управління (БЩУ) у кількості 21 особи (усі чоловіки) віком від 25 до 45 років, що становить 67% від загальної кількості оперативного персоналу першого блоку. Обстежено три зміни.

Вибір методів дослідження функціонального стану операторів ґрунтується на показниках валідності та надійності, а також виходячи з тривалості їх проведення (2-5 хвилин), що дозволяє не відволікати оператора від процесу керування тривало. У виробничих умовах

дослідження повторювалися чотири рази протягом зміни, за винятком коректурної проби, яка апробована лише з однією зміною тричі протягом зміни.

Отримані результати опрацьовувалися з використанням загальноприйнятих методів варіаційної статистики. При цьому окремо обстежено операторів енергоблоків (10 осіб), віком від 24 до 49 років, неправильні дії яких, на думку спецкомісії, стали причиною помилок управління та передаварійних ситуацій (експериментальна група). До контрольної групи увійшли оператори віком від 25 до 45 років, які пройшли планове психофізіологічне обстеження в період професійної підготовки в навчально-тренувальному центрі та успішно працюють операторами енергоблоків.

Результати. Як показує аналіз посадових інструкцій операторів, діяльність персоналу АЕС можна схарактеризувати як очікування аварійно небезпечних відхилень параметрів устаткування (табл. 1). Саме за їх виникненні і за неможливості ліквідації невідповідностей автоматики повинні починати діяти оператори.

Таблиця 1

Компоненти діяльності оператора енергоблоку АЕС

Найменування одиниці діяльності	Результати виконання одиниці діяльності	Фактори, що ускладнюють виконання одиниці діяльності
Прийм та переробка оперативної інформації	Формування концептуальної моделі оперативної ситуації	Проектування, виготовлення системи відображення інформації без урахування ергономічних вимог, невміння взаємодіяти з інформаційною моделлю, формувати образно-концептуальну модель.
Аналіз оперативної ситуації	Оцінка ступеня відхилення значень параметрів від заданих. Виявлення причин відхилення	Динаміка розвитку відхилення. Обсяг інформації, яку слід переробляти. Невідповідність психофізіологічних та особистісних особливостей оператора вимогам діяльності. Кількість причинно-наслідкових зв'язків.
Прийняття рішення	Алгоритм керуючих впливів	Рівень складності алгоритма керуючих впливів. Дефіцит часу
Реалізація прийнятого рішення	Досягнення відповідності реальних значень параметрів та вимог до них	Невідповідність блокового щита керування ергономічним вимогам. Дефіцит часу. Психофізіологічна невідповідність оператора режиму діяльності. Несформованість професійних навичок

Процес засвоєння професійних знань та навичок операторської діяльності супроводжується формуванням складної, ієрархічно організованої функціональної системи. Цей процес детермінований психофізіологічними та особистісними особливостями операторів у період навчально-тренувальної діяльності, тому ефективність навчання операторів визначається тим, як враховуються індивідуально-психологічні особливості, та можливістю напрямів корекції професійно-важливих психофізіологічних якостей (ПВПЯ) у період профпідготовки, тобто індивідуалізацією навчання.

Індивідуальні бальні значення динаміки функціонального стану операторів ХАЕС, а також усереднені методами первинної статистичної обробки дані щодо функціонального стану «екіпажу» (септетів) операторів наведені у таблицях 2 та 3.

Таблиця 2
 Динаміка показників САН операторів Хмельницької АЕС (М ± m)

Оператори, група	Показники функціонального стану												
	Самопочуття (бали)				Активність (бали)				Настрій (бали)				
	9 го-дин	11 го-дин	13 го-дин	16 го-дин	9 го-дин	11 го-дин	13 го-дин	16 го-дин	9 го-дин	11 го-дин	13 го-дин	16 го-дин	
Зміна 1	Е	4,5± 0,5	4,4± 0,3	4,3± 0,2	4,1± 0,2	4,0± 0,3	4,0± 0,4	4,0± 0,3	3,5± 0,5	4,0± 0,5	3,8± 0,3	3,7± 0,5	3,5± 0,5
	К	6,0 ± 0,7*	6,0 ± 0,7*	5,9 ± 0,6*	5,5 ± 0,9*	5,3 ± 0,7*	5,4 ± 0,6*	5,4 ± 0,6*	5,0 ± 0,8*	5,3± 0,4*	5,1± 0,5*	5,1 ± 0,6*	5,0± 0,8*
Зміна 2	Е	5,6 ± 0,9	5,3 ± 0,4	5,0 ± 0,7	4,5 ± 0,3	5,4 ± 0,5	5,1 ± 0,6	4,7 ± 0,6	4,6 ± 0,6	5,0 ± 0,4	5,1 ± 0,5	4,8 ± 0,3	4,6 ± 0,3
	К	6,3± 0,5*	6,2± 0,3*	6,0± 0,3*	6,5± 0,5*	6,4± 0,2*	6,0± 0,3*	6,5± 0,5*	6,5± 0,5*	6,1 0,3*	6,1± 0,2*	6,7± 0,3*	6,5± 0,4*
Зміна 3	Е	3,8± 0,5	3,7± 0,3	3,5± 0,5	3,4± 0,4	3,8± 0,5	3,6± 0,5	3,5± 0,5	3,3± 0,5	3,5± 0,5	3,4± 0,5	3,3± 0,5	3,2± 0,5
	К	5,4 ± 0,6*	5,2 ± 0,5*	4,7 ± 0,3*	4,7 ± 0,3*	5,3 ± 0,5*	5,0 ± 0,5*	5,1 ± 0,3*	4,9 ± 0,5*	5,5 ± 0,4*	5,0 ± 0,6*	5,0 ± 0,5*	4,8 ± 0,4*

Примітки: 1. Достовірність міжгрупової різниці: 0,95 (*); 0,99 (**); 0,999 (***) . 2. Е-експериментальна група, К-контрольна група операторів.

З представлених даних видно, що усереднені показники самопочуття помірно знижувалися від початку до кінця зміни, становлячи від 6,0 балів (зміна 1, початок роботи) до 4,5 балів (зміна 2, кінець роботи) за 7-бальною шкалою.

Таблиця 3

Динаміка фізіологічних та психофізіологічних показників
 операторів зміни 2 ХАЕС (М±m)

Показник, група	Перед по- чатком ро- боти	Під час роботи			Після ро- боти
		на початку	в середині	наприкінці	
Е R-R, інте- рвал, с К	0,8±0,2 1,0±0,2*	0,7±0,2 0,9±0,1*	0,6±0,1 0,8±0,3*	0,6±0,2 0,8±0,2*	0,5±0,2 0,7±0,3*
АТС, Е мм. рт. ст. К	130±5 125±5	130±5 125±5	140±5 130±5	140±5 130±5	140±5 135±5
АТд, мм рт. ст. Е К	75±5 70±5	75±5 70±5	75±5 70±5	85±5 75±5	85±5 80±5
Пульсовий тиск, Е мм. рт. ст. К	55±5 55±5	55±5 55±5	65±5 60±5	55±5 55±5	55±5 55±5
М'язова сила, кг Е К	55±5 65±5*	53±4 63±5*	48±5 59±3	45±5 56±4*	35±5 47±5*
Витрива- лість, Е с К	28±5 35±5*	25±5 34±5*	23±3 33±5*	20±3 30±5*	18±5 27±5*
ЛП ПЗМР, Е мс К	205±5 180±5**	213±7 185±5**	220±9 190±5**	235±8 195±5**	245±8 200±5**
ЛП ПСМР, Е мс К	180±9 160±5**	192±5 165±5**	205±5 170±5**	208±5 180±5**	211±7 180±5**
КЧЗСМ, Е Гц К	45±5 55±5**	42±5 53±5**	40±5 51±5**	40±5 50±5**	35±5 50±5**

Примітка. ЛП ПЗМР, ЛП ПСМР – латентні періоди простих зорово- и слухомоторних реакцій відповідно, КЧЗСМ – критична частота злиття світлових миготінь.

Динаміка змін показників активності є складнішою картиною, яку можна інтерпретувати як виражене стійке зниження для зміни 2 (від 5,4 балів на початку зміни до 4,5 балів наприкінці), як недостатньо виражене зниження для зміни 1 (від 5,3 балів на початку зміни до 4,9 балів наприкінці, причому середньогрупова активність «екіпажу» підтримувалася на стабільному рівні протягом 4-х годин). Таку ж

тенденцію виявлено й для зміни 3 (розмах коливань активності операторів становить від 5,3 до 4,8 балів).

Показники динаміки настрою коливаються найменшою мірою і стійко й помірно знижувалися від початку до кінця зміни подібним чином для всіх трьох «екіпажів»: розмах коливань настрою від 5,4 балів (зміна 3, початок роботи) до 4,6 балів (зміна 2, кінець зміни).

Наголошуємо на виявленій середньою мірою тенденції наростання реактивної тривожності від початку до кінця зміни, особливо для «екіпажів» 2 і 3. Розмах усереднених значень тривожності становив від 21 бала в зміні 1 до початку роботи до 31 бала в зміні 2 наприкінці роботи.

Динаміка концентрації уваги з коректурних проб досліджувалася лише для однієї зміни операторів о 9 годині (початок роботи), 13 годині (через чотири години діяльності) й о 16 годині (кінець зміни). При цьому фіксувалися показники продуктивності за одну хвилину протягом п'ятихвилинного обстеження, показники допущених помилок та стійкості концентрації уваги. Можна відзначити, що до початку зміни загальна картина характеризувалася розкидом індивідуальних відмінностей за стійкістю від 79 знаків до 663. Через чотири години діяльності констатовано мінімум стійкості концентрації уваги (63 знаки) у оператора 5 при максимумі оператора 3 (636). До кінця зміни максимум стійкості концентрації уваги відзначений у оператора 7 (1035 знаків) при мінімумі оператора 4 (69 знаків). Виявлено тенденції збільшення стійкості уваги від початку до кінця зміни (оператори 2, 3, 7), зниження стійкості (оператори 4, 5) щодо стабільної стійкості (оператори 1, 6).

Методами вторинної статистичної обробки нами розраховані коефіцієнт лінійної та рангової кореляції між реактивною тривожністю та самопочуттям. Встановлено, що коефіцієнт Пірсона коливається від $-0,87$ до $0,70$, у середньому становлячи величину $0,03$, що свідчить про низьку кореляцію між досліджуваними показниками. Коефіцієнт Спірмена коливається від $-0,2$ до $0,16$ (в середньому $0,2$), підтверджуючи виявлену слабку позитивну кореляцію досліджених показників.

Середня тривалість R - R - інтервалів зменшується до кінця роботи, що відповідає почастишанню серцевої діяльності на 38%. Чутливими до навантаження виявилися показники м'язової сили (зменшення на кінець зміни на 36%), витривалості (зменшення на 38%). Характер зміни психомоторних функцій відбивають показники ЛП ПЗМР (збільшення на 15%) та ЛП ПСМР (збільшення на 18%), а психофізичних функцій – показник КЧЗСМ (зменшується на 22% до кінця зміни). Результати, подані в табл.3, свідчать про слабку тенденцію

підвищення до кінця роботи значень артеріального тиску (на 7 - 9%).

З усієї сукупності (31 особа) обстежуваних операторів 10 операторів робили серйозні помилки управління, які призводили до передаварійних ситуацій, інші – становили контрольну групу.

Досліджуючи їх психологічні, фізіологічні та психофізіологічні характеристики, а також успішність освоєння та реалізації операторської діяльності, ми отримали дані, що свідчать про різну професійну придатність операторів експериментальної та контрольної груп (табл. 2, 3). Найбільшою мірою вони виражені за показниками, що відображають рівень розвитку концентрації уваги, психофізичних та психомоторних характеристик ($p < 0,01$). У меншій мірі, хоч і з високою ймовірністю, виражені відмінності в показниках методики САН, реактивної тривожності, динамометрії та гемодинаміки ($p < 0,05$).

У цілому, характеризуючи динаміку показників функціонального стану «екіпажів» (септетів) операторів ХАЕС, можна назвати такі емпірично виявлені тенденції:

1. Середні групові показники самопочуття, активності, настрою, що виявилися в динаміці змінної діяльності, характеризуються середніми та високими значеннями та мають помірно виражену тенденцію до зниження від початку до кінця зміни. При цьому слід відзначити факт виявлення стабілізації показників активності протягом 4 годин безперервної діяльності операторів, зафіксованих у двох змінах з трьох обстежених.

2. Показники реактивної тривожності характеризуються середньо вираженою тенденцією наростання від початку до кінця зміни.

3. Динаміка показників концентрації уваги виявила неоднорідну картину протилежних тенденцій. Оператори з найвищою стійкістю концентрації уваги на початку зміни через чотири години безперервної діяльності знизили її до величин, що зіставляються з показниками операторів, що характеризуються мінімумом стійкості концентрації уваги на початку зміни. Останні, у свою чергу, збільшували абсолютні значення стійкості концентрації уваги. Очевидно, цей факт відбиває особливості розподілу-узгодження функцій управління всередині операторського колективу.

4. Динаміка фізіологічних та психофізіологічних показників виявила характерну для операторів автоматизованих систем управління картину помірної втоми.

5. Порівняльний аналіз фізіологічних, психологічних та психофізіологічних характеристик операторів експериментальної та контрольної груп вказує на те, що «винуватцям» передаварійних ситуацій властиві низькі показники самопочуття, активності, настрою, що поєднуються з тривогою за стан свого здоров'я, труднощами у

колективному виконанні роботи та соціальних контактах, а також прагненні уникати ситуацій, що вимагають прийняття відповідальних рішень та психофізіологічної напруги.

Висновки. При вирішенні кадрових проблем на атомних електростанціях, що характеризуються складною високоавтоматизованою системою управління, доцільним є врахування техніко-технологічних факторів у зв'язку з психофізіологічними особливостями оперативного персоналу.

Комплекс методів дослідження функціонального стану операторів ХАЕС можливо використовувати для оптимізації професійного відбору та підготовки фахівців-операторів, що може дати соціально-економічний ефект від зниження аварійності та витрат на профпідготовку. Доданками цього ефекту будуть підвищення ефективності та якості операторської діяльності, продуктивності та надійності виконання виробничих завдань, збільшення професійного довголіття, зниження травматизму та професійно обумовленої захворюваності оперативного персоналу атомних електростанцій.

Одночасно з цим можна говорити про підвищення ефективності всієї людини – машинної системи в цілому, маючи на увазі насамперед показники керованості, засвоєння, обслуговування та використання, тобто складові ергономічності.

Таким чином, отримані дані можуть бути корисними при визначенні динаміки психофізіологічного стану фахівців атомних електростанцій та у перспективі мають розглядатись як мішені соціально-медичної підтримки персоналу при створенні диференційованих психореабілітаційних програм.

Посилання

1. Kim T.K. A test as parametric statistic. *Korean J Anesthesiol.* 2015. Vol.68, №6. P.540-546. [Електронний ресурс] <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>. (дата звернення: 02.04.2022).

2. Shevchenko O., Burlakova I., Sheviakov O., Agarkov O., Shramko I. Psychological foundations of occupational health of specialists of economic sphere. *Медицинські перспективи.* 2020. Т. 25. №2. С. 163-167.

3. Sheviakov O., Gerasimchuk O. Psychological aspects of formation of professional health safety of specialists System. *International security studios managerial, economic, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects.* International collective monograph. Tbilisi, Georgia. 2023. Georgian Aviation University. №60. "International Educations and scientists Foundation". P. 1133-1147.