

УДК 331.582:621.311.25

Павел Викторович Стефаненко, д-р пед. наук, проректор; Донецкий национальный технический университет; директор; Институт гражданской защиты Донбасса; e-mail: spv@igzd.dgtu.donetsk.ua; Анастасия Юрьевна Артёмова, канд. экон. наук, доц.; Институт гражданской защиты Донбасса; e-mail: bgdicz.artjomova@mail.ru; 283001, Донецк, ул. Артема, 58. Тел. (+38062) 337-17-33; 304-59-71

РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ АЭС

Цель. Определение роли человеческого фактора в обеспечении безопасности работы атомных электростанций на основе современных методик, процедур системного анализа и концептуальных моделей.

Методы. Научные исследования в сфере человеческого фактора представлены характеристиками концептуальной модульной модели SHEL. Для оценки роли человеческого фактора в обеспечении безопасности также использована процедура системного анализа ошибок человека SHARP. Представлено подробное описание методик THERP, HCR, SLIM, DNE,MAPPS.

Результаты. Классифицированы и охарактеризованы ошибки персонала на основании опыта эксплуатации АЭС. Дана характеристика общих шагов для различных методик, имеющихся в процедуре системного анализа ошибок человека: определение, скрининг, разделение, представление, определение взаимовлияния, расчеты, документирование. С точки зрения теоретических научных исследований и практического применения охарактеризованы рекомендации МАГАТЭ по учету человеческого фактора в вероятностных моделях.

Научная новизна. Дан системный анализ характеристик концептуальной модульной модели SHEL, а также процедуры ошибок человека и их анализа SHARP.

Практическая значимость. Определена существенная роль человеческого фактора в возникновении потенциальных угроз при работе АЭС и в обеспечении соответствующей безопасности. Сформулирована сущность «безопасного проекта» в целом как «дружественного оператору» и нацеленного на учет ошибок человека. Выделены пять основополагающих принципов для совершенствования обеспечения безопасности функционирования объекта с учетом роли человеческого фактора.

Ключевые слова: *человеческий фактор; человек-оператор; оператор АЭС; модель поведения человека; безопасность работы; причины ошибок персонала; модульная модель SHEL; система «человек – машина»; процедура системного анализа ошибок человека SHARP.*

Введение. Безопасность работы АЭС напрямую зависит от надежности техники и персонала. Одним из определяющих параметров надежности персонала является безошибочность действий человека, особенно человека-оператора. В ядерной энергетике процент аварий по вине персонала велик. По разным оценкам, прямо или косвенно с ошибками персонала связаны от 15 до 40 % всех аварий и от 20 до 80 % всех нарушений на АЭС, в том числе и самых серьезных. Анализ причин и последствий аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (Three Mile Island accident), происшедшей 28 марта 1979 г. в США, привел к всестороннему пересмотру подходов к безопасности АЭС и признанию того, что человек является важнейшим звеном в обеспечении безопасности. Тогда же был введен термин «человеческий фактор», также созданы лаборатории, исследующие вероятные ошибки человека-оператора, результатом работы которых явились методики по изучению вероятных ошибок при выполнении различных технологических операций эксплуатации АЭС, в том числе во время ремонта [1]. Детальный анализ причин Чернобыльской катастрофы выявил

глубинные причины аварии, что в конечном итоге привело к возникновению термина «культура безопасности».

Работа оператора АЭС чрезвычайно сложна. Операторы должны не только знать назначение каждого прибора и значение каждого сигнала, но и понимать, какие действия предпринять для обеспечения нормальных условий работы, а также в случае возникновения отклонений в работе оборудования и аварий. Конечно, в их распоряжении имеются соответствующие инструкции для всех режимов работы энергоблока, но объем информации очень большой и очень велика ответственность за выполняемые действия. В этой связи представляют интерес исследования американских коллег о зависимости вероятности ошибки человека-оператора от уровня его подготовки. Вероятность ошибки при выполнении работы за какое-то отведенное время меньше, когда знания в процессе обучения трансформируются в умения и навыки. Эти зависимости являются теоретической базой обучения и тренинга. Разработана, например, модель поведения человека, которая учитывает, что вероятность ошибки зависит от природных способностей человека-оператора и его обучения (HCR – Human Cognitive Reliability – надежность человека как функция его способностей).

Целью исследования является всестороннее изучение роли человеческого фактора в обеспечении безопасности работы АЭС на основе современных методик, процедур системного анализа и концептуальных моделей.

Методы. Для реализации поставленной цели рассмотрим влияние ошибок человека на возможность возникновения аварии на АЭС. В связи с этим охарактеризуем типичные примеры ошибок персонала АЭС на основании опыта эксплуатации и выводы, вытекающие из них.

Пример 1. При срабатывании аварийной защиты оператор должен продублировать ее нажатием кнопки аварийной защиты. Если он не выполняет это действие, чаще всего последствия не наступают, автоматика срабатывает сама. **Вывод 1.** Не каждая ошибка персонала ведет к аварии; некоторые из них почти не сказываются на ходе технологического процесса, поскольку их компенсируют другие события и действия или работник имеет резерв времени, чтобы обнаружить и устранить ранее допущенную им ошибку.

Пример 2. В 2000 г. на втором блоке Ровенской АЭС незакрытая арматура в течение неопределенного времени до события (примерно несколько недель) создала условия для поступления воды из первого контура в бокс парогенератора и снижения уровня в бассейне выдержки и бассейне перегрузки при загрузке свежего топлива. **Вывод 2.** Последствия некоторых ошибок могут проявиться не сразу, а с задержкой от 10 мин до нескольких недель. Такие ошибки приобретают статус ошибок-ловушек, которые кажутся безвредными, но в сочетании с другими обстоятельствами могут привести к авариям.

Пример 3. В 2004 г. на Южно-Украинской АЭС при ремонте воздушной линии электропередач работник ошибочно воздействовал на ключ выбора режимов блочного выключателя, что немедленно привело к аварийному

отключению блока. Вывод 3. Часть ошибок оператора приводит к немедленному наступлению нежелательных последствий, в том числе аварий.

Ошибочные действия персонала можно условно разделить на три категории: 1) случайная ошибка-промах; 2) ошибка по незнанию; 3) сознательно неправильное действие. Чаще всего в ошибках персонала присутствуют элементы разных категорий.

Существует множество других классификаций ошибок персонала, но гораздо более важно знать причины ошибок. Практически все исследователи роли человеческого фактора в атомной энергетике коренными причинами ошибок персонала АЭС называют следующие: неправильную организацию работы и управления (включая надзор, контроль, координацию взаимодействия подразделений); неадекватные процедуры (наличие и качество); ошибочную коммуникацию; некачественную подготовку персонала; личные качества (невнимательность, самонадеянность, несоблюдение процедур и т.п.).

Научные исследования человеческого фактора ведутся в рамках разработки различных концептуальных моделей. Возможность осуществить поэтапный подход к изучению человеческого фактора дает концептуальная модульная модель SHEL [2].

Схематично модель SHEL имеет вид отдельных блоков-модулей, которые отображают разные составляющие эргатической системы, что дает возможность наглядно представить необходимость сопоставления отдельных ее компонентов. SHEL – аббревиатура, которая составлена из начальных букв составных модулей: SOFTWARE (программное обеспечение) – установки (процедуры, символы); HARDWARE (аппаратные средства) – объект (машина); ENVIRONMENT (среда) – среда, в которой должны действовать составные элементы системы; LIVEWARE (персонал) – субъект (человек).

Эта модель была разработана Эдварсом в 1972 г., а позже дополнена иллюстрацией-диаграммой Хоукинса. Она не отображает взаимосвязи между модулями, которые находятся вне границ человеческого фактора (объект – объект, объект – среда, установка – объект) и рассматривается лишь как вспомогательное средство для понимания человеческого фактора.

L – (Liveware) субъект. В центре модели SHEL, по Хоукинсу, находится человек – наиболее весомый и гибкий компонент системы. В условиях производства человек ограничен требованиями должностной инструкции – перечнем функциональных обязанностей, условностями и ограничениями, большинство из которых можно предусмотреть и регламентировать. Границы центрального модуля – модели человека – сложные и аморфные. Другие модули модели должны быть максимально пригнаны к нему для предотвращения нежелательного напряжения и возможных срывов в системе. Для обеспечения такой согласованности необходимо понимание характеристик человека как центрального компонента системы.

L – H – субъект – объект (Liveware – Hardware). Взаимосвязь в системе «человек – машина» легче проследить на конкретных примерах:

проектирование кресел, которые отвечают характеристикам тела; дисплеев, которые отвечают возможностям усвоения информации пользователем; органов управления передачей, кодированием и размещением информации и т.д. Пользователь вообще может не знать о наличии дефектов в системе L-H, даже если это в конечном итоге приведет к катастрофе, поскольку естественная способность человека адаптироваться, приспособливаться маскирует, нивелирует дефекты системы L-H, но не ликвидирует их. Способность к приспособлению несет потенциальную угрозу, о чем должны знать конструкторы техники.

L – S – субъект – установки (Liveware – Software). Речь идет о нефизических аспектах системы, таких, как правила, руководства, контрольные перечни, символы, программное обеспечение и т.д. Виды и программы такой взаимосвязи менее очевидны и соответственно более сложны для решения, например, неадекватность восприятия требований контрольных перечней или символов.

L – E – субъект – среда (Liveware – Environment) В процессе трудовой деятельности одной из первых была установлена взаимосвязь «человек – среда». Поначалу мероприятия, которые рассматривались, были направлены на адаптацию человека к соответствующим условиям окружающей среды (средства индивидуальной защиты). Со временем, с развитием техники, начали проявляться обратные тенденции – приспособление рабочей окружающей среды к возможностям человеческого организма: очищение и кондиционирование воздуха, звукоизоляция, санитарно-гигиеническое нормирование физико-химических факторов окружающей среды. Вся совокупность переменных условий должна учитываться при изучении взаимоотношений в системе L – E. Условия внешней окружающей человека среды стали предметом жесткого политического и экономического внимания.

L – L – субъект – субъект (Liveware – Liveware) Это вид взаимодействия между людьми. Он включает понятие лидерства и подчиненности. Процессам межличностных отношений уделяют большое внимание, так как они являются причиной недоразумений и ошибок, влияют на безопасность и эффективность производства.

Модель SHELL – одна из первых моделей учета человеческого фактора. Дальнейшие исследования [1, 3] создали возможности расчетов вероятности ошибки оператора и включение этих моделей в общую модель сложной системы.

Наиболее фундаментальными научными работами по исследованию «человеческого фактора – Human Factor – HF» являются работы американских ученых Харольда Блэкмана и Дэвида Гартмана, в частности Human reliability and safety analysis data handbook. Важность этих работ состоит в том, что исследователям предоставляется возможность учитывать вероятности выполнения операций по уменьшению последствий аварий в условиях конкретной АЭС, включая действия человека по восстановлению

работоспособности оборудования в качестве базисных событий в вероятностном анализе безопасности.

Обязательным аспектом изучения роли человеческого фактора в обеспечении безопасности является изучение взаимодействия системы «человек – машина». Систематическое изучение факторов, связанных с обслуживанием машины человеком, и взаимодействия системы «человек – машина» необходимо включать в процесс проектирования на ранней стадии разработки проекта и продолжать на протяжении всей работы над проектом. Конструктор должен иметь четкую информацию о тех параметрах, которые отображают текущее состояние всего оборудования и систем, необходимых для выполнения функций безопасности. Подобные положения должны быть разработаны и для дополнительных постов (пультов) управления.

Для управления системой оператору необходима информация, которая бы позволяла: быстро оценивать общее состояние объекта, в котором он находится (или в состоянии нормальной эксплуатации, или в условиях ожидаемого эксплуатационного события, или в аварийном состоянии), и убедиться, что выполняются запрограммированные автоматические действия по обеспечению безопасности, а также определить соответствующие действия, которые должен выполнить оператор.

Для выполнения роли оператора оборудования человеку необходима информация о параметрах отдельных систем объекта и оборудования. Проект должен содействовать успешному выполнению оператором своих действий в пределах имеющегося времени, в условиях предполагаемой (физической) окружающей среды и психологической нагрузки.

Для оценки роли человеческого фактора в обеспечении безопасности также применима процедура системного анализа ошибок человека. Она имеет общие шаги для различных методик: определение, скрининг, разделение, представление, определение взаимовлияния, расчеты, документирование.

Данная процедура известна как SHARP (Systematic Human Action Reliability Procedure). Процедура включает семь шагов и два этапа, на которых принимается решение. Два первых шага выполняют системные аналитики, два последующих – специалисты по анализу человеческого фактора, последние три шага процедуры выполняют совместными усилиями. Объем работ на каждом шаге зависит от типа используемой методики.

Приведем более подробное описание методик [4].

Методика THERP – определение значимости ошибок человека в технике (Technique for Human Error Rate Prediction) – разработана в 1970 г. Данная методика получила широкое распространение как наиболее полная, позволяющая сделать все шаги анализа ошибок человека: выявление, моделирование и количественные оценки ошибок человека. Существует стандарт, регламентирующий применение методики – NUREC/CR-1278, который определяет последовательность действий и условия применения таблиц данных.

Методика HCR – надежность человека как функция его способностей (Human Cognitive Reliability) – использует таксономию по Расмуссену; зависимость надежности человека от времени дается в виде конкретной формулы. Метод часто используется для целей диагностики (прогноза).

Методика SLIM – метод индексов вероятности успеха (Success Likelihood Index Method) – связана с экспертными оценками, учитывает психологические оценки. Основана на способе парных сравнений, когда сравнивают суждения экспертов друг с другом, определяют факторы, важные для конкретной задачи, как они влияют на конечную вероятность ошибки, вес каждого фактора применяется к максимальным и минимальным значениям ошибки. Существует компьютерная версия метода SLIM-MAUD.

Методика DNE – прямые числовые оценки-мнения, экспертные оценки (Direct Numerical estimation). В этом случае вероятности успешных действий человека-оператора определяют эксперты.

Методика MAPPS – метод моделирования ошибок (Maintenance Personnel Performance Simulation) – метод компьютерного моделирования (экспертная система, основанная на наборе правил, которые определяют решения, принимаемые оператором в какой-то ситуации в момент аварии).

С точки зрения теоретических научных исследований и практического применения целесообразны рекомендации МАГАТЭ по учету человеческого фактора в вероятностных моделях. Методика МАГАТЭ рекомендует в вероятностном анализе безопасности приводить начальную информацию о надежности персонала на данной АЭС [5].

Эта информация относится к исходным данным, методам и результатам анализа. Она должна включать в себя: короткое изложение процедур испытаний и технического обслуживания с указанием потенциальных ошибок, связанных с приведением систем и элементов в рабочее состояние по окончании испытаний и технического обслуживания; короткое изложение аварийных процедур, которые относятся к специальным процедурам для конкретных аварийных последовательностей, которые трактуют действия персонала в аварийных условиях; короткое изложение административных процедур; перечень потенциально важных ошибок персонала, включая ошибки приведения систем в рабочее состояние после испытаний и технического обслуживания; описание моделей, методов количественного анализа и оценок верхнего предела вероятностей ошибочных действий для каждой ошибки, включенной в перечень; перечень действий, связанных с событиями отказов, которые можно устранить и которые происходят не по вине персонала (отказ элементов и т.п.) и т.д.

Приведенные требования отвечают методикам, суть которых изложена в данной статье. Справочные данные по учету некоторых факторов, которые влияют на поведение оператора, описаны и в других методиках [4]. Методики, приведенные в учебнике [5], по мнению авторов, являются приоритетными.

Выводы. При работе со сложными системами, имеющими взаимосвязанные подсистемы, которые выдают большие массивы данных, существует высокая вероятность совершения ошибки. Безопасный проект является «дружественным оператору» и нацелен на учет ошибок человека. Для предотвращения ошибок человека или ограничения их последствий используют физические или административные барьеры. На уровне интерфейса пользователя (где существует относительно высокая вероятность совершения ошибки) информацию необходимо представлять оператору таким образом, чтобы обеспечить управляемость и достаточное время для принятия решений и мер. Безопасный проект нацелен также на содействие принятию оператором соответствующих мер с должным учетом имеющегося времени, психологических требований ситуации и физического окружения. Необходимость скорейшего вмешательства оператора должна быть сведена к минимуму. В тех случаях, когда требуется принятие оперативных мер, они должны осуществляться автоматически. Следует учитывать, что работы по проблемам человеческого фактора направлены на решения сугубо практических задач. Концептуальные взаимоотношения этой работы с науками о человеке можно сравнить с отношениями между конструкторской, т.е. прикладной, деятельностью и естественными, теоретическими, науками. Подобно тому, как технические прикладные науки связывают естественные науки с прикладными областями их применения, возрастает количество методологий и методов в области изучения человеческого фактора. Чрезвычайно важно, чтобы все причастные к эксплуатации в пределах эргатических систем осознали, что целиком исключить ошибки человека невозможно.

Проблемы человеческого фактора наиболее основательно разработаны в областях высоких технологий, где возникновение чрезвычайных ситуаций, случаев и инцидентов имеет тяжелые последствия, прежде всего в авиации и атомной энергетике. С 1989 г. Международная организация гражданской авиации регулярно издает «Циркуляр ИКАО. Человеческий фактор». Методология учета человеческого фактора универсальна, что дает возможность применять ее в различных сферах хозяйственной деятельности.

Показательно, что при подходе к проблемам человеческого фактора допускается интуитивный и, в ряде случаев, поверхностный подход. Результатом проявления человеческого фактора стала тяжелейшая в мире техногенная Чернобыльская катастрофа, исследованиями причин которой доказано, что авария обязательно должна была произойти при сложившихся обстоятельствах, так как несовершенными и ошибочными были программа испытаний на 4-м блоке, конструкция РУ, процедуры и подготовка операторов [5]. Но какими бы ни были причины, центральным фактором являются поведение и границы возможностей человека.

Затраты работы, финансов, материалов возросли настолько, что импровизированный или интуитивный подход к решению проблем

человеческого фактора более недопустим. Для существенного уменьшения чрезвычайных ситуаций отношение к проблемам человеческого фактора должно стать более ответственным, человеческий фактор необходимо изучать более глубоко, а накопленные знания применять шире. Распространение информации о человеческом факторе дает наиболее действенную возможность сделать деятельность человека и общества более безопасной и эффективной.

Такими образом, можно говорить о том, что основой постоянных улучшений являются пять основополагающих принципов: 1) даже лучшие специалисты совершают ошибки; 2) ситуации, чреватые ошибками, предсказуемы, управляемы и предотвращаемы; 3) поведение человека определяют организационные процессы и ценности; 4) наивысшая эффективность работы достигается благодаря поощрению и поддержке; 5) нарушений можно избежать, если научиться влиять на причины ошибок.

Список литературы / References

1. Gertman, D.I., Blackman, H.S. (1995). Human reliability and safety analysis data handbook. New York, 448 p.
2. Циркуляр ИКАО. Человеческий фактор. Сборник материалов № 1. Фундаментальные концепции человеческого фактора: утв. Генеральным секретарем и опубликовано с его санкции / Международная организация гражданской авиации. – Монреаль – Канада, 1989. – 33 с.
Tsirkular ICAO. Chelovecheskiy faktor. Sbornik materialov no. 1. Fundamental'nyye kontseptsii chelovecheskogo faktora: utv. General'nyum sekretaryem i opublikovano s yego sanktsii [Human factor. Textbook no. 1. Approved by the General Secretary and published by his approbation] (1989). *Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoy aviatsii* [International Organization Canada of the Civil Aviation]. Canafa, Montreal, 33 p.
3. NUREC/CR-1278. *The THERP methods* (1982). Washington, 123 p.
4. Human reliability assessment training course (1995). USA, INEL, 568 p.
5. Культура безопасности в ядерной энергетике: электронное учебное издание [Текст] / В.В. Бегун, С.В. Широков, С.В. Бегун и др. – Киев, 2012. – 563 с.
Begun, V.V., Shirokov, S.V., Begun, S.V. etc. (2012). *Kul'tura bezopasnosti v yadernoy energetike* [Culture of safety in the nuclear power]. Kiev, 563 p.

Pavel Victorovich Stefanenko, Dr. Sci. (Ped.), Vice-Rector; the Donetsk National Technical University, Director; the Institute of Civil Protection of Donbass; e-mail: spv@igzd.dgtu.donetsk.ua;

Anastasia Yuryevna Artyomova, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor; the Institute of Civil Protection of Donbas; e-mail: bgdicz_artyomova@mail.ru; 283001, Donetsk, 58, Artyem st. Phones (+38062) 337-17-33; 304-59-71

THE ROLE OF THE HUMAN FACTOR IN SAFETY OF THE ATOMIC POWER STATION OPERATION

Purpose. Determination of the role of the human factor in the security of the safety of the atomic power stations operation on the basis of modern methods, procedures of the system analysis and conceptual models.

Methods. The scientific investigations in the sphere of the human factor are introduced as the characteristic of the conceptual modular model SHEL. To estimate the role of the human factor in the security of the safety the procedure of the system analysis of errors of a man SHARP is used, too. The detailed description of the methods THERP, HCR, SLIM, DNE, MAPPS is presented.

Results. The errors of the staff are classified and characterized on the grounds of the operating experience of the atomic power stations. The characteristic of the collective steps for various methods being in the procedure of the system analysis of the errors of the man, i.e. determination, screening, partition, introduction, determination of interaction, calculations, documentation, is given. In terms of the theoretical scientific investigations and practical application the recommendations of the International Atomic Energy Agency (IAEA) on taking into account the human factor in the probabilistic models were characterized.

Scientific novelty. The system analysis of the characteristics of the conceptual modular model SHEL is given, as well one of the procedure of the errors of the man and their analysis SHARP.

Practical value. The essential role of the human factor in origin of the potential threats by the operation of the atomic power station and in the security of the proper safety is determined. The main point of the “safe project” is formulated on the whole as “friendly to an operator” and targeted at taking into account the errors of the man. Five fundamental principles are singled out to improve the security of the functioning of the object taking into account the role of the human factor.

Keywords: *human factor; human-operator; operator of the atomic power station; human behavioral model; safety of operation; causes of errors of the staff; modular model SHEL; “man – machine” system; procedure of the system analysis of the errors of the man SHARP.*