

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ УСТНОЙ КОММУНИКАЦИИ МЕЖДУ ОПЕРАТОРАМИ БЩУ АЭС В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

**А.Н. Анохин<sup>1</sup>, Н.В. Плешакова<sup>2</sup>, В.А. Чепурко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,  
г. Обнинск

<sup>2</sup>Смоленский учебно-тренировочный центр «Атомтехэнерго»  
ОАО «Атомтехэнерго»



Коммуникация играет важную роль в совместной ментальной деятельности персонала блочного щита управления АЭС. В работе авторами был выполнен анализ коммуникации, имевшей место при отработке аварийного сценария на полномасштабном тренажере АЭС с ВВЭР-1000. Было проведено интервьюирование операторов и серия из четырех экспериментов. В результате анализа полученной информации идентифицированы и описаны шесть типов коммуникации, оценены их соотношения и количественные характеристики, выявлены и проанализированы факторы, влияющие на коммуникацию. Наиболее значимыми из них являются шум, вызванный работой сигнализации и интенсивными переговорами, и дефицит времени, вынуждающий операторов сокращать свои сообщения. Отмечены используемые операторами способы улучшения коммуникации, а также сформулированы дополнительные рекомендации, направленные на повышение ее эффективности.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что практически все принципиальные оперативные решения по управлению АЭС принимаются на блочном щите управления (БЩУ). Для формирования и реализации этих решений операторы БЩУ должны активно обмениваться информацией не только друг с другом, но и с внешними участниками процесса управления – местными операторами, начальниками смен различных цехов, начальником смены станции, руководителями АЭС, диспетчерами различных служб (энергосистемы, пожарной и др.). Можно выделить две основные задачи коммуникации, обеспечивающие эффективную групповую работу:

- координация деятельности различных субъектов управления;
- формирование и поддержание общей ментальной модели технологического процесса.

Влиянию коммуникации на эффективность работы смены посвящены многочисленные исследования. Так, в работе [5] подчеркивается, что коммуникация помогает совместной выработке плана действий и необходима для уточнения имеющихся или разработки новых стратегий преодоления ситуации. В [9] показано, что

коммуникация мало значима в штатных ситуациях, когда операторы смены точно знают, что происходит. В необычных же ситуациях коммуникация необходима операторам для разъяснения друг другу, почему существующие стратегии не работают в данной ситуации, а также для поиска совместными усилиями новых стратегий и прогнозирования будущего состояния станции. В работах [3, 4] выявлено, что более эффективные в работе смены использовали стандартную коммуникацию и чаще озвучивали информацию о ситуации, об изменении важных технологических параметров и о появлении сигнализации.

Практически вся коммуникация на БЩУ осуществляется вербально непосредственно «лицом к лицу» либо через средства связи, такие как телефон, громкоговорящая связь. В ходе общения «лицом к лицу» операторы иногда сопровождают сообщения жестами. Наивысшая значимость голосовой коммуникации по сравнению с другими формами взаимодействия в ходе управления констатируется в работах [2, 6, 8].

Наблюдения за поведением операторов во время аварийных ситуаций показали, что интенсивность коммуникации резко возрастает. Это объясняется большим потоком событий, о которых необходимо информировать друг друга, а также значительным объемом действий и команд. В условиях стремительно развивающейся ситуации, дефицита времени и стрессогенных условий устная коммуникация может стать предметом и причиной совершаемых операторами ошибок. Ошибки, допускаемые в ходе самой коммуникации, были исследованы в работе [1]. В этой же работе показано, что наиболее эффективной мерой по снижению вероятности таких ошибок является контрольная обратная связь, например «репетование» получателем сообщения. Такая обратная связь позволяет проверить идентичность текста и смысла, заложенного в сообщение отправителем, и смысла, понятого получателем.

Современная тенденция к повышению уровня автоматизации БЩУ существенным образом может изменить условия и характер работы операторов. Автоматизация способна улучшить коммуникацию [4]. В то же время новые проекты БЩУ могут также нести определенные проблемы для групповой работы. Так, переход к управлению через компьютер может сузить горизонт наблюдения и препятствовать обмену информацией [7].

Теоретические исследования групповой коммуникации, в основном, посвящены созданию семантических моделей процесса передачи информации, измерению объема коммуникации и классификации типов коммуникации. Такие данные приведены, например, в работе [9], авторы которой изучили и оценили типы коммуникации, такие как обмен информацией, определение стратегий и наблюдение за исполнением.

Настоящая статья посвящена экспериментальному изучению коммуникации операторов БЩУ во время ликвидации аварийной ситуации. Толчком к проведению данного исследования стал возросший в последнее время объем коммуникации, что в свою очередь вызвано переходом к новому поколению процедур на ряде АЭС. Современные процедуры стремятся к максимальной формализации действий операторов. Так, чтобы выполнить очередной шаг процедуры, начальник смены блока (НСБ) должен прочитать его вслух. После этого соответствующий оператор (реактора или турбины) выполняет требуемое действие и докладывает о полученных результатах. Такой порядок повышает надежность действий операторов, однако отнимает время и увеличивает интенсивность и без того перегруженного потока сообщений. О нехватке времени на коммуникацию упоминали в своих интервью многие операторы, подчеркивая, что пошаговое чтение текста процедуры

препятствует выполнению немедленных действий в условиях быстро развивающейся аварийной ситуации.

Этот и другие факторы, влияющие на коммуникацию операторов, анализируются в данной статье на примере действий операторов в условиях наложения двух исходных аварийных событий. В работе выполнена классификация и построены структурные модели шести типов коммуникации, оценен их относительный объем и другие количественные характеристики коммуникации, представлены рекомендации, направленные на улучшение коммуникации.

## ТИПЫ КОММУНИКАЦИИ

Простейшим элементом коммуникации является *акт передачи информации* от отправителя к одному или нескольким получателям. В более сложных случаях коммуникация происходит в контексте некоторого действия. Такая коммуникация включает в себя два и более акта передачи информации (например, запрос-ответ). Структурная схема акта передачи информации показана на рис. 1. В самом простом случае этот акт состоит лишь в единственном элементе деятельности, а именно, в том, что отправитель излагает свою информацию. В более сложных случаях получатель обеспечивает обратную связь и либо подтверждает адекватный прием информации, либо просит уточнить или повторить информацию. Отправитель повторяет информацию или сообщает дополнительные сведения. После этого акт может завершиться, либо цикл повторяется до тех пор, пока информация не будет надежно принята получателем.

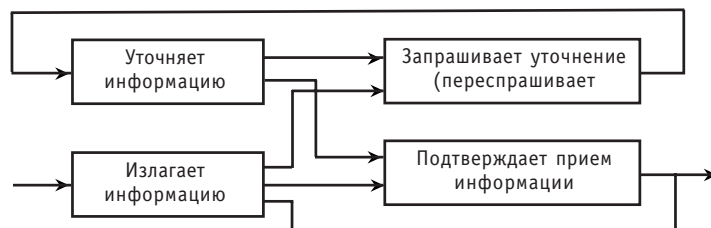


Рис. 1. Схема акта передачи информации от отправителя к получателю

В зависимости от цели и содержания передаваемой информации можно выделить три разновидности актов передачи информации:

- запрос – отправитель запрашивает у получателя некоторую информацию;
- сообщение – отправитель информирует получателя о некоторых событиях;
- команда – отправитель выдает распоряжение получателю выполнить определенные действия.

*Акт коммуникации* – это комбинация перечисленных выше актов передачи информации. На рисунке 2 показаны шесть типов актов коммуникации между операторами БЩУ АЭС, выявленных в ходе исследования.

а). *Информационное сообщение* состоит из одного акта передачи информации одному или нескольким получателям. Обычно информационное сообщение инициируется оператором реактора или турбины (или местными операторами через средства связи). Как правило, такое сообщение содержит информацию о сработавшей сигнализации, отклонении технологических параметров или любых изменениях в состоянии технологического оборудования.

б). *Запрос-ответ* состоит из двух актов передачи информации. В большинстве случаев НСБ запрашивает необходимую информацию у операторов, либо операторы БЩУ посылают запрос местным операторам. Запрос может выражаться как в

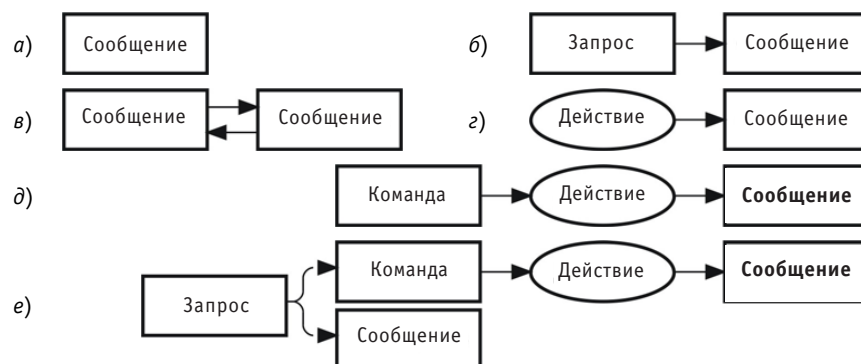


Рис. 2. Структурные диаграммы шести типов коммуникации: а) – информационное сообщение; б) – запрос-ответ; в) – обсуждение; г) – доклад о действии, выполненном без команды; д) – команда-действие; е) – запрос на выполнение действия (шрифтом выделены необязательные акты)

форме вопросительного предложения (например, «Какова текущая концентрация борной кислоты?»), так и в форме команды на выполнение перцептивного действия (например, «Проконтролировать текущую концентрацию борной кислоты»). За запросом следует обязательный ответ.

в). *Обсуждение* возникает в случае, когда получатель и отправитель обмениваются информацией и пытаются найти коренную причину ситуации. В ходе совместной дискуссии члены смены БЩУ обычно проясняют текущую ситуацию или договариваются о любых необходимых совместных действиях.

г). *Доклад о действии, выполненном без команды*, имеет место, когда один из операторов (реактора или турбины) самостоятельно выполнил некоторую технологическую операцию. Цель данного типа коммуникации состоит в поддержании осведомленности других членов смены о ситуации.

д). *Команда-действие*. Этот тип коммуникации начинается с команды на выполнение некоторой технологической операции. Инициатором команды обычно является начальник смены, получателем – оператор реактора или турбины. В некоторых случаях команда инициируется операторами БЩУ и адресована полевым операторам. После прохождения команды получатель выполняет заданную операцию (обычно это моторные действия – включение насоса, манипулирование арматурой и др.) и докладывает о результатах. В некоторых случаях доклад отсутствует.

е). *Запрос на выполнение действия* инициируется операторами в случае, если для выполнения действия требуется разрешение начальника смены блока или станции. Получив запрос, начальник смены оценивает ситуацию и либо разрешает выполнить действие, либо запрещает. Получив разрешение, оператор выполняет действие, после которого он может доложить о полученных результатах.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на полномасштабном тренажере (ПМТ) энергоблока ВВЭР-1000 (проект В-320) Балаковской АЭС. Эксперимент состоял в наблюдении за работой смены БЩУ при отработке аварийного сценария, моделирующего наложение двух событий – течи в парогенераторе из первого контура во второй и течи из первого контура в контеймент. В эксперименте участвовали четыре смены операторов БЩУ. Каждая смена состоит из четырех человек: ведущих инженеров управления реактором (ВИУР) и турбиной (ВИУТ), начальника смены реакторного цеха (НСРЦ) и НСБ. Две смены работали по симптомно-ориентированным процедурам (СОАИ), две – по событийно-ориентированным (САИ).

Действия операторов фиксировались на видеокамеру, велась регистрация всех необходимых технологических параметров, воздействий на органы управления и технологических событий (срабатывания сигнализации, переключения оборудования). Был выполнен иерархический и временной анализ задач. Все устные сообщения, исходящие от операторов БЩУ (160–180 сообщений в каждом прогоне), были классифицированы в соответствии с выявленными видами коммуникации и проанализированы. В результате исследования были получены следующие результаты:

- оценена относительная доля различных типов коммуникации;
- выявлены основные факторы, влияющие на коммуникацию;
- проанализированы и сформулированы меры по улучшению коммуникации.

Всего за четыре прогона аварийного сценария было зафиксировано 529 актов коммуникации. Общая длительность прогонов составила 2 ч 17 мин, при этом коммуникация заняла примерно половину всего времени. Средняя длительность одного акта коммуникации составила 7,7 с. В таблице 1 приведены количественные характеристики для различных типов коммуникации. Из таблицы видно, что основную долю занимают информационные сообщения, запросы-ответы и команды-действия.

В ходе экспериментов были обнаружены следующие основные факторы, влияющие как отрицательно (первые два фактора), так и положительно (последние три фактора) на коммуникацию:

- высокий уровень шума на БЩУ;
- сложное информационное содержание актов;
- использование обратной связи;
- использование профессионального сленга;
- привлечение внимания друг друга к сообщениям.

Таблица 1

#### Соотношение различных видов коммуникации

Тип коммуникации	Относительное количество актов данного типа, %	Относительное время, затраченное на коммуникацию данного типа, %	Средняя длительность, с
Информационное сообщение	38	16	3,3
Запрос-ответ	23,5	28,5	9,4
Обсуждение	5	12	18,4
Доклад о действии, выполненном без команды	3,5	4,5	10,1
Команда-действие	24	34	10,9
Запрос на выполнение действия	6	5	6,8

#### ШУМ НА БЩУ

В ходе прогона сценариев и просмотра видеозаписей было выявлено, что существенная часть актов коммуникации включает в себя уточнение и переспрашивание. Одной из основных причин этого является общий высокий уровень шума на БЩУ. Во время аварийных ситуаций шум может быть обусловлен

- срабатыванием звуковой аварийной сигнализации;

- высокой интенсивностью переговоров операторов БЩУ между собой и с внешним персоналом;
- возможным присутствием на БЩУ дополнительного персонала.

Последнее явление не наблюдалось в ходе экспериментов на ПМТ, однако оно часто упоминается при интервьюировании операторов и проявляется в реальных ситуациях, таких как пуск блока и плановые проверки оборудования. В качестве дополнительного персонала могут рассматриваться начальники или работники смен различных цехов, инженер по безопасности и др. Дополнительный персонал может оказать помощь смене БЩУ в решении проблем и частично разгрузить высокую нагрузку ВИУР и ВИУТ. Однако эти внешние специалисты могут увеличить и перегрузить коммуникацию и повысить и без того высокий уровень шума на БЩУ.

Наиболее существенный вклад в шум оказывает звуковая сигнализация о происшедших технологических событиях – громкие звонки или сирена. В условиях быстро развивающейся ситуации частота появления сигнализации очень высока, и операторы не имеют достаточно времени для обмена сообщениями в крайне короткие промежутки между соседними сигналами. Несмотря на то, что операторы стараются не переговариваться во время работы сигнализации, зачастую она появляется после того, как акт коммуникации уже начался.

Интенсивность коммуникации и интенсивность звуковых сигналов в четырех прогонах сценария показана на рис. 3. Из графиков видно, что в большинстве случаев между двумя кривыми имеется незначительная корреляция (коэффициент корреляции Пирсона от 0,3 до 0,7). Это вполне предсказуемо, т.к. операторы должны докладывать об отклонении технологических параметров и изменении состояния оборудования сразу после появления соответствующего сигнала. Более того, когда ситуация развивается быстро, операторы пытаются совместно най-

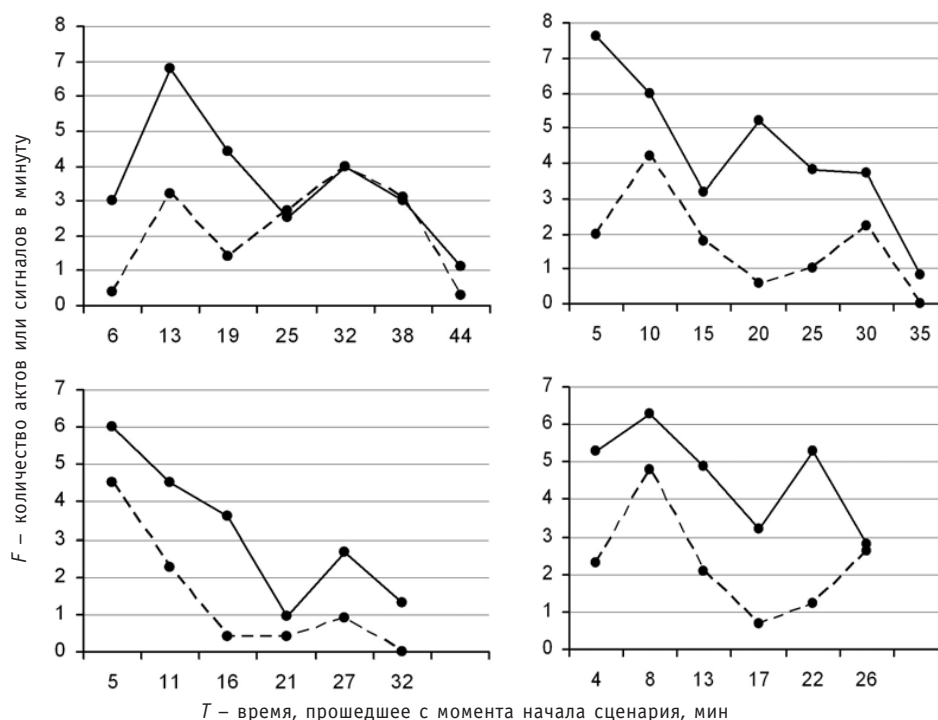


Рис. 3. Интенсивность коммуникации и срабатывания сигнализаций во время ликвидации аварийных ситуаций (——— — частота актов коммуникации; - - - - частота звуковых аварийных сигналов)



ти объяснение происходящим событиям и разработать подходящую стратегию действий. При этом, чтобы быть услышанным, оператор вынужден повышать голос и перекрикивать звук сигнализации и переговоры между другими операторами смены.

Другим серьезным вкладчиком в шум на БЩУ является одновременное появление и наложение друг на друга двух или более актов коммуникации. Наиболее часто наложение имеет место, когда несколько разных отправителей пытаются передать информацию одному получателю, например:

- в случае быстрого изменения состояния оборудования блока ВИУР и ВИУТ одновременно сообщают НСБ об основных событиях;
- ВИУБ или ВИУТ занят переговорами с местными операторами, а в это время НСБ выдает ему команду на выполнение действия.

В этих случаях так же как, и при наложении коммуникации на сигнализацию, получатели часто переспрашивали отправителя.

### Оценка наложения шума на коммуникацию

Для более детальной количественной оценки относительного объема коммуникации, происходившей на фоне шума (работающей сигнализации и других переговоров), был использован аппарат теории случайных процессов [10, 11]. Рассмотрим методику расчета на примере оценки доли коммуникации, происходившей на фоне сигнализации. Последовательности актов коммуникации и звуковой сигнализации рассматривались как два различных дискретных потока  $C^*$  и  $A^*$  соответственно. Каждый поток состоит из пауз длительностью  $\xi_i$  и периодов активности коммуникации или сигнализации длительностью  $\eta_i$  (рис. 4):

$$C^* = [\xi_1; \xi_1 + \eta_1] \text{ И } [\xi_1 + \eta_1 + \xi_2; \xi_1 + \eta_1 + \xi_2 + \eta_2] \cup \dots \text{ (аналогично для } A^* \text{)}.$$

Вероятность наложения сигнализации на коммуникацию вычисляется как

$$P(t \in A^*; t \in C^*) = P(t \in A^*) P(t \in C^*),$$

где  $t = i \cdot h$ ;  $i = 1, 2, 3 \dots$ ;  $h$  – шаг, равный 0,1 с.

Рассмотрим метод расчета вероятностей  $P(t \in A^*)$  и  $P(t \in C^*)$ :

$$P = P(\xi_1 \leq t \leq \xi_1 + \eta_1) + \int_0^t \varphi(\tau) f_{\xi+\eta}(t-\tau) d\tau.$$

Для оценки плотностей распределения длительности пауз  $f_{\xi}(t)$  и длительности периодов активации  $f_{\eta}(t)$  применим ядерную оценку

$$f_{\xi}(x_j) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n m_i V\left(\frac{x_j - t_i}{\sigma}\right) \sigma < 1,$$

где  $V(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$  – функция плотности стандартного гауссовского закона, ис-

пользуемая в качестве ядра;  $x_j = j \cdot h$  – точка сетки, в которой происходит оценивание;  $n$  – объем выборки;  $m_i$  – количество пауз (или активаций), имеющих длительность  $t_i$ ;  $\sigma$  – параметр сглаживания.

На основании плотностей распределения величин  $\xi$  и  $\eta$  находим плотность распределения суммы этих величин –  $f_{\xi+\eta}(t)$ :

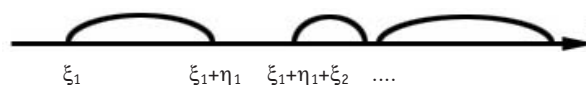


Рис. 4. Структура потока

$$f_{\xi+\eta} = \int_0^t f_{\xi}(u) f_{\eta}(t-u) du.$$

Далее рассчитаем значение  $P(\xi_1 \leq t < \xi_1 + \eta_1)$ :

$$P(\xi_1 \leq t < \xi_1 + \eta_1) = P(\xi_1 \leq t) - P(t > \xi_1 + \eta_1) = F_{\xi_1}(t) - F_{\xi_1 + \eta_1}(t) = F_{\xi}(t) - F_{\xi + \eta}(t),$$

где  $F_{\xi}(t)$  – эмпирическая функция распределения  $\xi$ ;  $F_{\xi + \eta}(t)$  – эмпирическая функция распределения величины  $\xi + \eta$ . Эмпирические функции распределения находим по формуле

$$F_{\xi}(t_i) = \int_0^{t_i} f_{\xi}(\tau) d\tau = \frac{f_{\xi}(0) + f_{\xi}(t_i)}{2} \cdot h + \sum_{j=1}^{i-1} f_{\xi}(t_j) h.$$

В итоге имеем уравнение Вольтерра второго рода

$$\varphi(t) = P(t) + \int_0^t \varphi(t-\tau) f_{\xi+\eta}(\tau) d\tau,$$

решаемое методом конечных сумм. Рассчитав значения функции  $\varphi(t)$  для потоков коммуникации и сигнализации –  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  соответственно, вычислим итоговую вероятность:

$$P(t \in A^*; t \in C^*) = P(t \in A^*) \cdot P(t \in C^*) = \varphi_1 \cdot \varphi_2.$$

Можно показать, что при  $t \rightarrow \infty$  функция  $\varphi(t)$  каждого потока будет стабилизироваться в значении асимптотического коэффициента:

$$K = \frac{M_{\eta}}{M_{\xi} + M_{\eta}},$$

где  $M_{\eta}$ ,  $M_{\xi}$  – математические ожидания  $\eta$  и  $\xi$  соответственно.

Таким образом, итоговая вероятность ( $K_{C|A}$ ) наложения потока срабатывания сигнализации на поток актов коммуникации будет асимптотически стремиться к значению

$$K_{C|A} = K_C K_A,$$

где  $K_C$  и  $K_A$  – асимптотические коэффициенты активации коммуникации и сигнализации соответственно.

Аналогично оценивается степень наложения на коммуникацию обоих составляющих шума – сигнализации и других переговоров ( $K_{C|A+C}$ ). Результаты расчетов для каждого из четырех прогонов аварийного сценария приведены в табл. 2.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ КОММУНИКАЦИИ

Под *информационным содержанием* понимается формулировка и смысл передаваемых в ходе коммуникации сообщений. Как уже отмечалось, в соответствии с существующим порядком применения аварийных процедур НСБ должен полностью зачитать вслух очередной шаг процедуры, после чего соответствующий оператор выполняет его. Как правило, большинство шагов сформулированы «письменным» языком, который является более тяжеловесным и пространным, чем разговорный язык. Текст шагов процедуры обычно содержит сложные технологические обозначения оборудования, такие как 4TV30,40,50S01,02,03,04, которые могут быть прочитаны без каких-либо затруднений, однако плохо воспринимаются на слух.

В своих интервью операторы говорили, что в условиях дефицита времени и стремительно разворачивающейся аварийной ситуации дословное чтение шагов процедуры вслух сильно замедляет реакцию операторов на ситуацию. На практике для ускорения коммуникации операторы иногда существенно сокращают фор-



Таблица 2

**Характеристики коммуникации**

Характеристика	Прогон			
	1	2	3	4
Длительность прогона $T$ , мин	44	32	26	35
Время, затраченное на коммуникацию $T_c$ , мин	19,4	15,7	15,8	17,0
Полнота озвучивания формулировок шагов процедуры $E$ , %	17	37	37,7	25,4
Прогнозируемое время коммуникации, если бы шаги озвучивались полностью $T_c^*$ , мин	22,3	17,2	17,1	20,6
Доля времени прогона, затраченная на коммуникацию ( $R_c = T_c / T$ ), %	44,2	49,1	60,6	48,5
Общее время звучания сигнализации $T_A$ , мин	4	4,6	6	5
Доля коммуникации на фоне звуковой сигнализации $K_{с А}$ , %	4,8	8,7	14,9	7,5
Доля коммуникации на фоне сигнализации и переговоров $K_{с А+с}$ , %	10	11,1	17,8	10,3

мулировки некоторых шагов, отбрасывая неинформативные слова и используя профессиональный сленг, являющийся результатом многолетней совместной работы в составе одной смены.

Для количественной оценки степени сокращения формулировок команд, отдаваемых НСБ при чтении шагов процедуры, был выполнен временной анализ на основании видеозаписей экспериментов. Для этого ожидаемое время чтения каждой команды  $t_{ож}$  сравнивалось с реальным временем, потраченным на чтение этой команды НСБ  $t_{факт}$ . Для оценки ожидаемого времени каждая команда была дословно прочитана вслух пять раз. Время фиксировалось с точностью 0,1 с, после чего вычислялось среднее арифметическое. Результаты были представлены в виде диаграммы, фрагмент которой показан на рис. 5. Из данного примера видно, что формулировки практически всех шагов сокращались, в результате чего длительность их чтения уменьшалась иногда в три-четыре раза (например, шаг 5а процедуры А0).

В ряде случаев НСБ вместо того, чтобы запрашивать информацию у оператора и зачитывать соответствующий пункт процедуры, сам выполнял операцию конт-

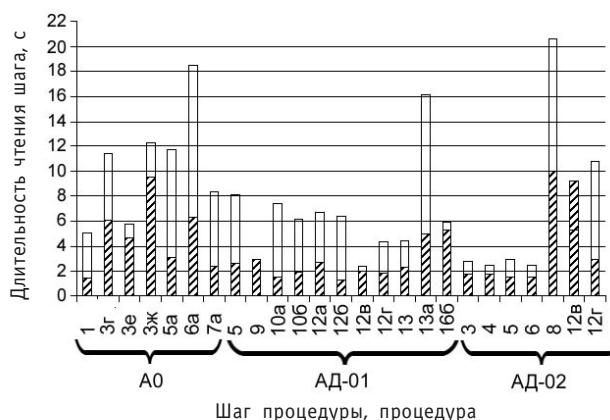


Рис. 5. Время озвучивания шагов аварийных процедур: □ – ожидаемое; ▨ – реальное (фактическое)

роля. Такой прием сокращал время выполнения шага в среднем в пять-шесть раз.

Полнота озвучивания формулировок шагов процедуры при их чтении в каждом из четырех проведенных экспериментов – это отношение суммарного фактического времени чтения к ожидаемому времени:

$$E_j = \left( \sum_{i=1}^{N_j} t_{\text{факт } i} / \sum_{i=1}^{N_j} t_{\text{ож } i} \right) 100\%,$$

где  $t_i$  – длительность чтения  $i$ -го шага,  $N_j$  – число шагов процедуры, выполненных в  $j$ -м прогоне.

Данные, полученные в ходе анализа двух упомянутых выше факторов, сведены в табл. 2 и часть из них показана на рис. 6. Из таблицы видно, что, несмотря на разную длительность прогонов, абсолютное время, затраченное на коммуникацию в разных прогонах, отличается не столь сильно. То же можно сказать и о времени звучания сигнализации. Это означает, что чем быстрее ликвидируется ситуация, тем выше доля коммуникации, происходящей на фоне шума. Это подтверждается наличием корреляции между величинами  $T$  и  $K_{C|A}$  ( $\rho = -0,94$ );  $T$  и  $K_{C|A+C}$  ( $\rho = -0,8$ ). Интересной представляется также зависимость между полнотой озвучивания формулировок процедуры и длительностью ситуации – чем детальнее зачитывается процедура, тем быстрее преодолевается ситуация ( $\rho = 0,94$ ). Однако пока нельзя уверенно утверждать о наличии такой причинно-следственной связи.

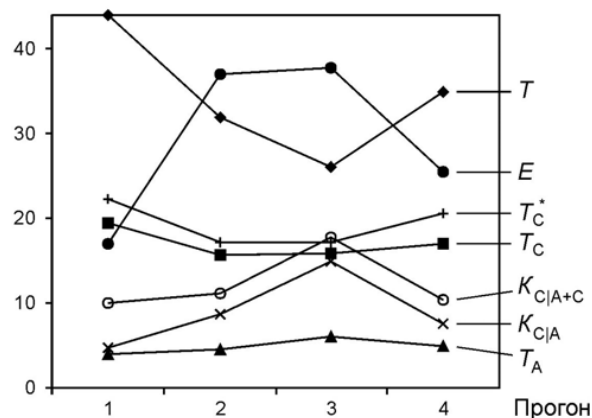


Рис. 6. Характеристики коммуникации, зафиксированные в четырех прогонах сценария

### СПОСОБЫ ОБЛЕГЧЕНИЯ КОММУНИКАЦИИ

В ходе наблюдения за операторами был отмечен ряд приемов, которыми пользуются операторы для обеспечения безошибочной и эффективной коммуникации. Необходимо отметить, что на Балаковской АЭС, как и на многих других станциях, существует определенный порядок ведения оперативных переговоров, проводятся соответствующие тренинги. В число очень важных приемов входит *обратная связь*, когда получатель подтверждает, что он получил и верно понял информацию. Чаще всего получатель просто повторяет полученную информацию, и это является мощным фактором повышения эффективности и надежности коммуникации.

Другим важным приемом является *привлечение внимания* друг друга, когда в начале акта передачи информации отправители называют получателя информации по имени или имени-отчеству. Это непосредственно стимулирует получателей и концентрирует их внимание, что позволяет избежать наложения сообщений и уменьшает необходимость уточняющих вопросов.

Как уже упоминалось, одним из способов сделать сообщения более лаконичными является использование *профессионального жаргона* (сленга). Это действительно эффективный способ быстрого общения, однако он может привести к неоднозначной интерпретации информационного содержания получателем. Использование сленга для обозначения технологического оборудования вынуждает операторов выполнять мысленное перекодирование информации, т.к. в документации и на панелях БЩУ используются только «официальные» технологические обозначения и идентификаторы. Очевидно, это увеличивает когнитивную нагрузку на операторов и создает предпосылки для ошибок. Однако следует отметить, что в ходе экспериментов такие ошибки не возникали.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для устранения выявленных проблем коммуникации представляется полезным

- 1) более тщательно подбирать как громкость, так и тональность акустических аварийных и предупредительных сигналов на БЩУ; важно «развести» тональности акустических сигналов с частотами и тональностью человеческого голоса;
- 2) проанализировать формулировки шагов процедур и сделать их более легкими и понятными, исключив сложные языковые конструкции;
- 3) унифицировать и нормализовать использование сленга для разработки недвусмысленных описаний определенных действий и технологического оборудования;
- 4) обеспечить НСБ контекстной технологической информацией, состав которой зависит от сложившихся условий и применяемой процедуры; это может существенно снизить количество актов «запрос-ответ» и привести к общему уменьшению коммуникации;
- 5) концентрировать внимание получателя на сообщениях с высоким приоритетом (например, с помощью использования слова «важно»), что позволит избежать потери важной информации в случае наложения актов коммуникации.

## Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность специалистам и руководителям Центра подготовки персонала Балаковской АЭС С.А. Бердюгину, Е.Е. Матвееву, А.С. Негодяеву за содействие и помощь в проведении данных исследований.

## Литература

1. Barnes V., Haagenzen B., OHara J. The human performance evaluation process: a resource for reviewing the identification and resolution of human performance problems (NUREG/CR-6751). - Washington, D.C.: US Nuclear Regulatory Commission, 2001.
2. Galegher J., Kraut R.E. Computer-mediated communication for intellectual teamwork: a field experiment in group writing/Proc. of Conference on Computer-Supported Cooperative Work (CSCW '90) (Los Angeles, CA, Oct. 7-10, 1990). - P. 65-78.
3. Jentsch F., Sellin-Wolters S., Bowers C.A., Salas E. Crew coordination behaviors as predictors of problem detection and decision making times/Proc. of HFES 39<sup>th</sup> Annual Meeting (HFES, Santa Monica, CA, 1995). - P.1350-1353.
4. Johannesen L.J., Cook R.I., Woods D.D. Cooperative communications in dynamic fault management/Proc. of HFES 38<sup>th</sup> Annual Meeting (HFES, Santa Monica, CA, 1994). - P. 225-229.
5. Ma R., Kaber D.B., Jones J.M., Starkey R.L. Team situation awareness in nuclear power plant process control/Proc. of 5<sup>th</sup> ANS International Topical Meeting (NPIC&HMIT 2006). - Washington DC: ANS-Omnipress, 2006. - P. 459-462.
6. Michailidis A., Rada R. Organizational roles and communication modes in team work/Proc. of 34<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences. 2001. - P. 1-9.
7. Norros L., Savioja P. Usability evaluation of complex systems. A literature review (STUK-YTO-TR 204). - Helsinki: STUK, 2004.

8. *Ochsman R.B., Chapanis A.* The effects of 10 communication modes on the behavior of teams during cooperative problem-solving//International Journal of Man-Machine Studies. – 1974. Vol 6. – P. 579-619.
9. *Schraagen J.M., Rasker P.C.* Communication in command and control teams/Proc. of 6<sup>th</sup> Command and Control Research and Technology Symposia (CCRP, U.S. Washington, DC, 2001).
10. *Байхельт Ф., Франкен П.* Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1983.
11. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000.

Поступила в редакцию 15.07.2009

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.58

*System Analysis of Verbal Communication between NPP Main Control Room Operators during Abnormal Situations* \ A.N. Anokhin, N.V. Pleshakova, V.A. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 12 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 11 titles.

Communication plays an important role in the joint mental activity of main control room team members at a Nuclear Power Plant (NPP). The communication which takes place when operators are dealing with an emergency scenario at the full scope simulator of VVER-1000 power unit has been analysed by the authors of the present paper. The experienced operators were interviewed and the series of four experimental trials were conducted. As a result of analysis of gathered data six types of communication were identified and described, and their relative proportions and other numeric characteristics were estimated. The main shaping factors influencing the communication were revealed and assessed. The most important of them are the noise caused by acoustic alarm signals and intensive talking, and the lack of time inducing the operators to cut out the wording of their verbal messages. The ways used by the operators in order to improve communication were revealed as well as additional recommendations of ways as to increase efficiency of communication were formulated.

### УДК 621.039.564

*single Module of Hydrogen Monitoring System within NPP Containment* \ S.V. Bogdanov, S.N. Berezhnoy, S.G. Kalyakin, A.A. Lukyanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The operation principle and the configuration of the single module are described, which is used to measure oxygen concentration inside the containment compartments as a part of the hydrogen monitoring system. The measuring complex of hydrogen and oxygen gas analyzers based on a single module is presented, which is designed for operation under beyond-design-basis accident conditions.

### УДК 621.039.586

*Adaptation of Standard Emergency Analysis Approach for BN-Type Reactors* \ Y.M. Volkov, A.I. Voropaev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 3 illustrations. – References, 7 titles.

In article described the standard approach adaptation of nuclear power plants emergency analysis for NPP with BN-type reactor. Approach implementation is meant for minimizing of dangerous impact of radiation for plant personnel, inhabitants and environment by means of special technical measures and organizational activity.

### УДК 519.7:519.22

*Method of Reliability Indices of Systems of the Nuclear Power Station Assessment in a Non-Homogeneous Failure Flow* \ K.A. Ivanova, M.A. Skiba, V.A. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 7 illustrations. – References, 12 titles.

The paper considers mathematical models and methods for calculating reliability indices of systems which probabilistic characteristics can vary in time. The equation for the availability function of a system in the up or failed state at any time is derived. New reliability indices of the joint event flows are derived and defined. Some their properties are presented. The relationship between new reliability indices and the failure and recovery distribution time using two-dimensional integral Volterra equation 2-nd sort is shown too. A new mathematical model allows the monotonous transformation of two independent recurrent failure and recovery flows arbitrarily. This, for example, allows to calculate the availability function of an ageing system. Equations for resource characteristics are deduced within the model and the practical example of their calculation is considered.

### УДК 621.039.58

*Passive system with steam-water injector for emergency supply of steam generators of the NPP* \ A.G. Ilchenko, A.N. Strakhov, D.N. Magnitsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). –