



Влияние человеческого фактора на оценку вероятности пропуска отказа системой мониторинга

В статье представлен возможный подход к оценке вероятности пропуска отказа оборудования, состояние которого контролируется системой мониторинга, с учетом влияния на результаты мониторинга человека как управляющего звена системы мониторинга. На основе данных по оценке надежности персонала атомных станций проведен анализ составляющих ошибок операторов и их вероятностей при управлении промышленным комплексом.

A. P. Naumenko¹, V. N. Kostyukov¹

Human Factor Influence on the Assessment of the Monitoring System Failure Probability

Introduction. The paper presents a possible approach to the assessment of the probability of omission the equipment failure, which is controlled by the monitoring system, considering the influence of a human factor (as a managing part of a monitoring system) on monitoring results. The aim of this paper is a selection and assessment of those components of the human factors that affect the likelihood of failure in modern monitoring systems.

Method. The components of human errors and their probabilities in the management of industrial complex have been analyzed using the approaches and data for assessing the nuclear power plants personnel reliability. The data included the reliability of information perception, decision-making, executive actions of the operator, and others.

Results. The probability of dangerous equipment state omission by a monitoring system has been assessed on the basis of abovementioned data analysis; the system meets the requirements of GOST R 53563, GOST R 53564 and represents a system of the First class.

Conclusion. The provided data show that it is possible to assess the probability of dangerous equipment state omission, taking into account the static and dynamic monitoring system errors and the human factor influence. The advanced achievements in the fields of engineering psychology, art design of information support systems, support systems for situation assessment, decision making and implementing, as well as the achievements in the field of equipment condition monitoring in various industries are the basis for the assessment.

Keywords: risks, monitoring, diagnostics, technical condition, human factor

Низкая культура безопасности и технологическая недисциплинированность персонала в различных отраслях промышленности, а также конструктивное с точки зрения безопасности несовершенство используемого в России промышленного и транспортного оборудования обуславливают достаточно высокий риск возникновения аварий и инцидентов.

В наибольшей степени аварийность свойственна угольной, горнорудной, химической, нефтегазовой и металлургической отраслям промышленности, транспорту. Проблема предупреждения происшествий приобретает особую актуальность в атомной энергетике, химической промышленности, при эксплуатации военной техники, где использу-

ются и обращаются мощные источники энергии, высокотоксичные и агрессивные вещества.

Основными причинами крупных техногенных аварий являются [1]:

- ошибочные действия операторов технических систем;
- высокий энергетический уровень технических систем;
- концентрация различных производств в промышленных зонах;
- отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации;
- внешние негативные воздействия на объекты энергетики, транспорта, нефтехимического комплекса (НХК) и др.

Особую роль играют факторы, связанные с влиянием на эксплуатацию оборудо-

Submitted 18.02.16
Accepted 11.03.16

Сотрудники

НПЦ «Динамика», г. Омск

НАУМЕНКО
Александр Петрович



Начальник лаборатории
НК, заместитель руководителя Независимого
органа по аттестации
персонала в области НК,
д. т. н., профессор.

КОСТЮКОВ
Владимир Николаевич



Председатель совета
директоров, д. т. н., про-
фессор, лауреат премии
Правительства РФ,
академик РИА

ования человека как звена управления производственным и технологическим процессами. В этих условиях использование мониторинга технического состояния оборудования как инструмента, обеспечивающего наблюдаемость технического состояния производственных и технологических объектов, является едва ли не единственным решением, повышающим безопасность производства и повышение его культуры. Однако сегодня, как правило, решение об управлении производственным процессом в случае изменения технического состояния оборудования принимает человек. Поэтому в этих условиях необходимо учитывать надёжность человека как элемента в системе управления технологическим процессом производства продукции.

Вопросам влияния деятельности человека как звена управления на безопасность эксплуатации промышленных объектов достаточно много внимания уделялось в атомной энергетике. Обширные исследования как в России, так и за рубежом посвящены оценкам вероятностей разнообразных ошибочных действий операторов атомных станций [1, 9, 11–16]. В производственно-транспортном комплексе, нефтегазохимической отрасли этой проблеме практически не уделялось внимания, о чём свидетельствует практически полное отсутствие обнародованных результатов исследований и публикаций по этой тематике. В то же время исследования причин ряда инцидентов и аварий на объектах этих отраслей свидетельствуют едва ли не о главной роли поведения человека, управляющего технологическим процессом, несмотря на наличие систем и средств мониторинга их состояния.

Целью исследований является решение такой актуальной задачи, как оценка влияния ошибок персонала на эксплуатацию систем диагностики и мониторинга технического состояния объектов опасных производств в реальном времени и выявление способов объективной оценки класса систем мониторинга [2] с учетом влияния человеческого фактора.

В современных системах диагностики и мониторинга технического состояния (СДМ) автоматизация всех процедур диагностирования [5] обусловлена необходимостью снижения риска пропуска опасного состояния оборудования [2, 3], величина которого определяет безопасность эксплуатации оборудования опасных производств [2–4].

Под вероятностью или риском пропуска опасного состояния оборудования (R) понимается совокупность величин статической (S), динамической (D) ошибок и влияния человеческого фактора (H), обусловленного несвоевременным выполнением персоналом предписаний системы мониторинга по устранению обнаруженного системой опасного состояния оборудования [3].

Обычно под ошибкой распознавания опасного состояния оборудования первого рода понимают пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное, а под ошибкой распознавания состояния оборудования второго рода — пропуск своевременного распознавания удовлетворительного

состояния оборудования, вызванный тем, что удовлетворительное состояние оборудования система диагностирует как неудовлетворительное [2, 3].

Однако для мониторинга состояния оборудования опасных производств принятые уточнённые частные определения, учитывающие специфику процесса мониторинга и его конечных целей. Так, введено понятие динамической ошибки распознавания опасного состояния оборудования первого рода — это пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что период мониторинга (диагностирования) превышает интервал развития неисправности от момента её обнаружения до предельного состояния оборудования. Под статической ошибкой распознавания опасного состояния оборудования первого рода понимают пропуск распознавания опасного состояния оборудования при диагностировании, вызванный тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное независимо от скорости развития неисправности [2, 3].

Как показано в [5], динамическая ошибка определяется интервалом постановки диагноза: период диагностирования всех агрегатов, входящих в НХК, при вероятности пропуска быстроразвивающейся неисправности не более 0,001 не должен превышать 4,8 мин (при 10 измерениях за указанный интервал).

Как показано в [6], для отдельных видов оборудования НХК при априорной вероятности постановки правильного диагноза 0,97 для каждого по отдельности диагностического признака, вероятность статической ошибки распознавания опасного состояния оборудования первого рода не превышает 0,01, при этом вероятность ошибки распознавания состояния оборудования второго рода не превышает 10^{-5} .

Таким образом, при заданном риске пропуска опасного состояния оборудования $R < 0,05$ для СДМ, осуществляющих мониторинг оборудования первой категории опасности [2], основной вес в величину риска пропуска опасного состояния оборудования вносит субъективный человеческий фактор. В этом случае риск пропуска опасного состояния оборудования как вероятность пропуска отказа определяется с учётом вероятностей правильной P_S и своевременной P_D постановки диагноза и вероятности влияния человеческого фактора P_H , который сводится к несво-

временности выполнения персоналом диагностического предписания, указанного СДМ для исполнения [7, 8]:

$$P_R = 1 - P_S P_D P_H \quad (1)$$

Если оценить влияние человеческого фактора на функционирование СДМ величиной 0,04 [7], то совокупная вероятность пропуска опасного состояния оборудования при $P_S = 0,99$, $P_D = 0,999$ не превысит 0,05, что обеспечивает возможность использования СДМ для мониторинга технического состояния в реальном времени оборудования первой категории опасности [2, 3, 8].

Таким образом, нет необходимости доказывать, что надёжность деятельности оперативного персонала по управлению технологическим процессом и состоянием оборудования данного технологического процесса, наряду с надёжностью техники, включающей обеспечение наблюдаемости как технического состояния оборудования, так и качества протекания техпроцесса в реальном времени, является одним из важнейших процессуальных свойств, влияющих на качество, эффективность и безопасность функционирования производства.

Традиционно надёжный технологический персонал или надёжный оператор — это человек, который пунктуально исполняет предписанной инструкцией алгоритм деятельности. Это означает, что во всех потенциально возможных ситуациях у оператора должны быть чёткие и однозначные алгоритмы выполнения всех операций по нормализации ситуации. Но почему бы в этом случае не заменить человека более надежной автоматической системой управления? Например, ввести данные функции в автоматизированную систему управления технологией производства (АСУ ТП), т.е. сделать её автоматической.

Если всё-таки основным звеном управления остается человек, то это автоматически означает, что допускается наличие ситуаций, которые не описаны в инструкциях или описаны в них неверно, противоречиво, недостаточно детально или однозначно. При этом на человека возлагается ответственность за действия при незапланированных ситуациях. Более того, некоторые американские специалисты в области атомной энергетики относят к ошибочным действиям неспособность оператора выполнить не предусмотренную инструкцией задачу [9]. В чем же тогда состоит надёжность оператора?

Надежный оператор может пунктуально, шаг за шагом выполнить инструк-

цию, нигде не ошибившись, и при этом не достичь поставленной цели: то ли инструкция была несовершенной, то ли что-то нужно было сделать чуть-чуть лучше, быстрее или качественнее, чем этого требует инструкция [9]. Считать ли этого оператора надёжным?

Творчески мыслящий оператор может, нарушив инструкцию, проявить изобретательность в сложной ситуации и усовершенствовать устаревшую или неверную процедуру, и, хотя такие действия квалифицируются как ошибки, достичь поставленной конечной цели [9]. Считать ли этого оператора ненадёжным?

Очевидно, что следует различать способности человека-оператора действовать надёжно, качественно, эффективно и оптимально.

Надёжность оператора может быть оценена, если представить его элементом технической системы. Поведение человека можно характеризовать комбинацией трёх параметров: входного сигнала (восприятие информации — information perceiving [IP]), реакции (принятие решения — decision making [DM]), отклика (исполнение решения — decision implementing [DI]) [1]. Упрощенную математическую модель поведения человека представим в следующем виде [1]:

$$[IP] \rightarrow [DM] \rightarrow [DI] \rightarrow [CS], \quad (2)$$

где [IP] — изменение окружающих условий, воспринимаемых оператором (например, загорание сигнальной лампы); [DM] — восприятие и обработка физического сигнала (запоминание, обдумывание и т.д.); [DI] — действие, обусловленное внутренней реакцией человека на сигнал (например, речь, нажатие кнопки); [CS] — изменение в машине (системе) — изменение состояния (change of state), вызванное действием оператора.

Сложность заключается в том, что поведение человека определяется действием многих факторов цепи $[IP] \rightarrow [DM] \rightarrow [DI]$, переплетённых между собой. Человек допускает ошибку, когда какой-либо элемент цепи оказывается неисправным или фактор непредсказуемым. Например:

- физические изменения окружающих условий [IP] не воспринимаются как сигнал для действий;
- сигналы неразличимы [DM];
- сигнал принят, но неправильно понят [DM];
- сигнал принят, понят, но правильный отклик неизвестен оператору [DM];
- правильный отклик находится за пределами возможностей человека [DI];

- отклик выполняется неправильно или не в требуемой последовательности [CS].

Применительно к проектированию СДМ и АСУ ТП это означает следующее: чтобы оператор был в состоянии откликнуться соответствующим образом, сигналы [DM] должны восприниматься оператором правильно и своевременно, а системы должны требовать отклика [DI], который оператор способен произвести. Характеристики систем должны быть приспособлены к возможностям оператора, должны учитывать ограничения, налагаемые ростом человека, его весом, временем реакции на сигнал. Для чёткой работы системы оператор должен получить подтверждение о последствиях своих действий по каналам обратной связи. Не имея возможности видеть результаты своей деятельности, оператор не может быть уверен в их правильности, его реакция будет характеризоваться большой изменчивостью [1].

Несмотря на принятие стандарта [10], регламентирующего анализ влияния на надёжность человеческого фактора и устанавливающего руководство по обеспечению надёжности, связанной с человеческим фактором, и ориентированное на методы человеко-ориентированного проектирования и повышения надёжности, которые могут быть использованы на всех этапах жизненного цикла системы, вопросы учёта человеческого фактора в системах управления состоянием оборудования до сих пор остаются нерешенными.

Наиболее стройная иерархия понятий, характеризующая деятельность человека как элемента системы, была предложена А.И. Губинским [11], который, определив понятие надёжности функционирования как способность сохранять устойчивость запланированного процесса функционирования, заключающуюся в отсутствии вынужденных прекращений процесса (срывов) и неправильного его исполнения по отношению к запланированному (ошибочных действий), рассматривал ещё и эффективность, и качество функционирования. В результате, надёжность и качество функционирования определены как процессуальные свойства, отражающие тот факт, что оператор действовал безотказно (надёжно, бесперебойно) и хорошо (качественно, оптимально), а эффективность — это результирующее свойство, свидетельствующее, что оператор достиг цели и работал не зря (эффективно).

Количественная оценка перечисленных свойств человека-оператора выполняется с помощью показателей эффективности, качества и надёжности. Для системы человек-машина в целом основными показателями эффективности и надёжности считаются:

- вероятность достижения поставленной цели в виде однократного (многократного) получения запланированного результата;
- вероятность безотказного, бессбоевого и своевременного выполнения задачи системой.

В [9, 12] приведены данные о надёжности человека-оператора, взятые из различных источников, среди которых имеет смысл выделить:

- экспериментальные данные о надёжности выполнения операций со средствами отображения информации и с органами управления корабельной ядерной энергетической установки [11];
- оценочные данные о надёжности персонала, используемые комиссией по ядерному регулированию (надзорный орган) США при проведении вероятностного анализа безопасности атомных станций [13];
- статистические данные о надёжности оперативного персонала, используемые при проведении вероятностного анализа безопасности атомных станций [16];
- эмпирические данные о надёжности персонала потенциально опасных предприятий Италии [14].

Результирующие данные о вероятностях ошибочных действий персонала сгруппированы согласно последовательности реализации трёх основных фаз деятельности оператора — восприятия, принятия решения и исполнения:

- ✓ 1-я группа — данные о надёжности процессов восприятия информации;
- ✓ 2-я группа — данные о надёжности процесса принятия решения;
- ✓ 3-я группа — данные о надёжности исполнительных действий оператора.

Классификация систем поддержки оператора по поддерживаемым ими фазам решения задачи оператором предполагает четыре типа основных систем [9]:

- информационной поддержки, предназначенных для обеспечения процесса наблюдения за оборудованием и обнаружения ситуаций, требующих вмешательства оператора, — фаза обнаружения;
- поддержки оценки ситуации, предназначенных для идентификации си-

туации, выявления её причин и диагностики состояния оборудования, — фаза диагностики;

- поддержки принятия решения, пред назначенных для выработки альтернативных решений в сложившейся ситуации, — фаза планирования;
- поддержки реализации решения, освобождающих оператора от рутинного исполнения процедур управления либо контролирующие этот процесс, — фаза исполнения и отслеживания.

В качестве примера на основе анализа принципов построения СДМ КОМПАКС® и способов представления в них информации [17–19], а также анализа форм представления и кодирования информации [9, с. 173–174] можно оценить величину вероятности ошибки оператора при управлении состоянием оборудования технологического комплекса опасного производства с помощью такой СДМ [5, 17–19].

Используя данные из [11], можно произвести оценку надёжности восприятия информации. Учитывая способы представления информации на экране монитора СДМ, вероятность необнаружения зрительного сигнала можно оценить следующим образом:

$$P_{T_1} = [1 - (1 - P_{T_{1.2}})(1 - P_{T_{1.4}})(1 - P_{T_{1.7}})]P_{T_{1.9}} = 1,44 \cdot 10^{-5}, \quad (3)$$

где $P_{T_{1.2}} = 0,0003$ — вероятность необнаружения для диаметра светового индикатора 6–12 мм; $P_{T_{1.4}} = 0,0002$ — для 1–2 индикаторов в группе; $P_{T_{1.7}} = 0,0004$ — для типа индикации «непрерывная»; $P_{T_{1.9}} = 0,016$ — вероятность необнаружения индикатора типа «транспарант» при низкой загрузке оператора [11], при этом учитывалось, что все средства отображения функционировали совместно и независимо друг от друга.

Представленный на рис. 1 способ отображения и представления информации о состоянии оборудования является примером удачной, с точки зрения надёжности восприятия информации, реализации информационного экрана системы мониторинга и диагностики. Экран СДМ имеет многоуровневую дублированную систему отображения информации, которая не только привлекает внимание оператора, но и выдаёт исчерпывающую информацию о необходимых действиях оператора. Индикаторы состояния первого уровня 1 отображают состояние группы объектов мониторинга. Обычно к такой группе относятся группы насосов, расположенные в одной насосной. Индикатор второго уровня 2 отражает информацию о состоянии объекта мо-

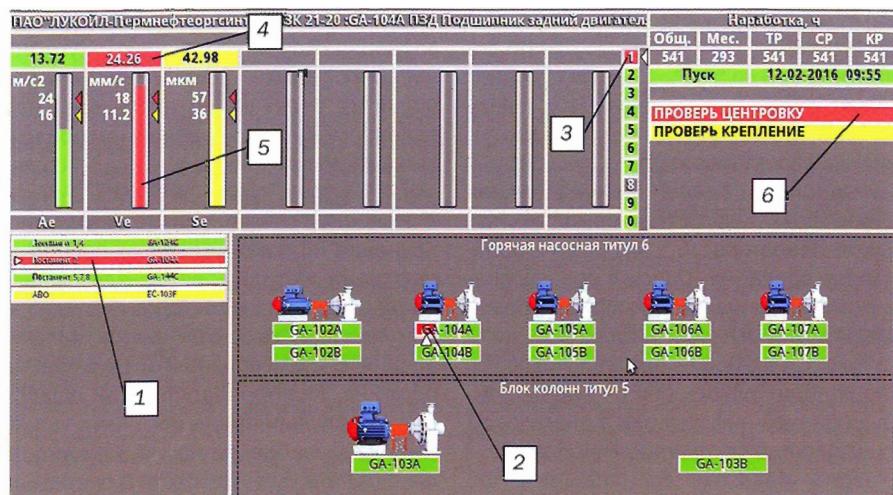


Рис. 1. Отображение информации о состоянии оборудования на экране СДМ

ниторинга (например, насосного агрегата) и его узлов (субъектов). Состояние группы диагностических параметров (количество признаков в данном случае не может превышать 80) отражает индикатор третьего уровня 3. Опасность измеренной величины диагностического параметра определяется цветом фона, на котором представлено его цифровое значение 4. Графическое представление — высота столбика индикатора (изменение снизу-вверх) и его цвет — отображают величину и состояние диагностического параметра 5. На основе анализа диагностических признаков неисправностей экспертная система поддержки принятия решений СДМ выводит сообщение на экран в виде «транспаранта» с текстом экспертного сообщения на цветовом фоне, соответствующем степени опасности диагностируемой неисправности или дефекта 6.

В целом принято считать [11], что обобщённая операция «Обнаружение и декодирование сигнала» имеет вероятность пропуска сигнала о необходимости действий со стороны оператора около $P_{T_{1.11}} = 0,013$.

Форма представления и кодирования информации — один из важнейших аспектов её восприятия. В инженерной психологии и художественном конструировании этот вопрос, всегда занимавший особое место, сегодня представляется достаточно проработанным. Вероятность ошибочного считывания количественной информации (числа) определяется типом системы отображения информации (СОИ) и её адаптированностью для условий применения в конкретных производственных условиях. Среди множества СОИ наиболее приспособленным для операторов, воспринимающим информацию в различ-

ных условиях ответственности и объёма информации, считается вертикальный аналогово-цифровой индикатор с цветовыми полями допусков измеряемых параметров ([9] с. 174–175). Аналогичный индикатор (рис. 1) применен и в СДМ [5, 17–19], широко используемой на предприятиях нефтегазохимического комплекса, а также в других отраслях промышленности.

На основе данных [9, 11, 12] можно произвести оценку вероятности ошибочного считывания при использовании вертикального аналогово-цифрового индикатора (рис. 1), при этом учтено, что вероятности ошибок складываются (а величины их противоположных событий перемножаются), поскольку имеем независимые совместные события:

$$P_{T_{2.1}} = 1 - (1 - P_{T_{2.2}})(1 - P_{T_{2.4}})(1 - P_{T_{2.5}})(1 - P_{T_{2.8}}) \times (1 - P_{T_{2.13}})(1 - P_{T_{2.14}})(1 - P_{T_{2.17}})(1 - P_{T_{2.19}}) = 0,0061, \quad (4)$$

где $P_{T_{2.2}} = 0,0030$ — конструкция прибора: подвижная шкала; $P_{T_{2.4}} = 0,0005$ — ориентация шкалы: вертикальная; $P_{T_{2.5}} = 0,0003$ — длина шкалы 75 мм; $P_{T_{2.8}} = 0,0002$ — число делений шкалы: 50–100; $P_{T_{2.13}} = 0,0018$ — расстояние между отметками шкалы более 6,4 мм; $P_{T_{2.14}} = 0,0001$ — масштаб шкалы — 1:1 или 1:2; $P_{T_{2.17}} = 0,0001$ — выделение зон: есть; $P_{T_{2.19}} = 0,0001$ — возрастание показаний: снизу-вверх.

С учётом информации, которая может быть использована для сообщений об изменении состояния и выводится на экране монитора СДМ, вероятность ошибочного считывания составляет:

$$P_{T_2} = 1 - (1 - (1 - (1 - P_{T_{2.23}})(1 - P_{T_{2.26}}) \times (1 - P_{T_{2.29}}))P_{T_{2.1}})(1 - P_{T_{2.21}})(1 - P_{T_{2.32}}) = 0,006, \quad (5)$$

где $P_{T_{2.23}} = 0,0003$ — величины вероятности ошибочного считывания буквенно-цифровой информации (в т. ч. с экрана

монитора) при высоте символов не менее 55 мм; $P_{t_{2,26}}$ — при числе слов в сообщении от 3 до 5 и $P_{t_{2,29}}$ — при просвете между цифрами не менее 3 мм (здесь принято, что вероятности ошибок внутри группы складываются); $P_{t_{2,21}} = 0,005$ — считывание цифровой количественной информации (цифры) при нормальной загрузке оператора; $P_{t_{2,32}} = 0,001$ — обобщённая операция «Поиск и декодирование информации» при числе приборов средств отображения информации от 1 до 7; $P_{t_{2,1}} = 0,0061$ — расчёт по (6) (здесь вероятности ошибок при считывании дублированной информации в аналоговом и цифровом виде перемножаются).

Таким образом, если принять, что операции «Обнаружение зрительного сигнала» и «Обнаружение и декодирование сигнала» производятся независимо друг от друга, и информация представляется параллельно и одновременно, то оценку надёжности восприятия информации можно произвести следующим образом:

$$P_{t_{1\&t_2}} = P_{t_{1,11}} \cdot P_{t_2} = 0,0000078. \quad (6)$$

С учётом данных о надёжности процесса принятия решения: коммуникации [11, 16], согласно которым «Выдача команды голосом» имеет вероятность ошибки $P_{t_{3,8}} = 0,001$, и с учётом наличия голосового сообщения экспертной системы поддержки принятия решений в СДМ [5, 17–19] ошибка операций обнаружения зрительного сигнала, считывания информации и её восприятие не превысит

$P_{t_{1\&t_2\&t_3}} = P_{t_{1\&t_2}} \cdot P_{t_{3,8}} = 0,781 \cdot 10^{-6}$, (7) поскольку одновременно и независимо оператор воспринимает информацию по двум каналам — визуально и аудио, путём голосового сообщения.

Данные о надёжности принятия решения приведены в [11, 16] в виде вероятностей ошибок при коммуникационных и когнитивных операциях оператора. Коммуникационные свойства систем поддержки оператора сегодня в большинстве случаев сводятся к привлечению внимания оператора путём воздействия, прежде всего, на его слуховые органы. Простейшие воздействия приводят к достаточно большим вероятностям пропуска информации и ошибки [11, 16]. Среди всех воздействий наименьшей вероятностью ошибки ($P_{t_{3,8}} = 0,001$) обладает голосовое или речевое воздействие на оператора, что и было в своё время реализовано в СДМ [5, 17]. А с учётом достаточно малого числа логических операций, выполняемых оператором на фазах диагностики и планирования ($P_{t_{4,1}} = 0,005$ — ког-

нитивные операции [11]: общая операция «Принятие решения»), суммарная вероятность ошибки правильного принятия решения не превышает при одновременном и независимом воздействии двух источников

$$P_{t_{3\&t_4}} = P_{t_{3,8}} \cdot P_{t_{4,1}} = 5 \cdot 10^{-6}. \quad (9)$$

Наиболее сложной является фаза исполнения и отслеживание её процедур, поскольку сегодня даже идентичные производственные процессы на различных предприятиях отличаются организацией систем поддержки реализации решения. Анализ вероятностей ошибок при манипулировании органами управления на основе данных о надёжности исполнительных действий оператора («Манипулирование органами управления» [11, 16]) показал, что величину ошибки при выполнении обобщённой операции «Поиск органа управления и осуществления заданного управляющего воздействия» (P_{t_6}) можно принять в пределах от 0,025 до 0,027, а при управлении только насосно-компрессорным оборудованием (P_{t_5}) — не более 0,011.

Вероятность ошибки оператора H с учётом всех влияющих факторов данных о надёжности процессов восприятия информации $P_{t_{1\&t_2\&t_3}}$ (7), принятия решения $P_{t_{3\&t_4}}$ (9) и исполнительных действий оператора, P_{t_6} можно оценить, как

$$H_1 = 1 - (1 - P_{t_{1\&t_2\&t_3}})(1 - P_{t_{3\&t_4}})(1 - P_{t_6}) = 0,027, \quad (10)$$

а при управлении только насосно-компрессорным оборудованием (P_{t_5}):

$$H_2 = 1 - (1 - P_{t_{1\&t_2\&t_3}})(1 - P_{t_{3\&t_4}})(1 - P_{t_5}) = 0,011. \quad (11)$$

Тогда вероятность R пропуска опасного состояния оборудования (1) при $P_s = 0,99$, $P_d = 0,999$ с учётом (10) не превысит 0,037, а с учётом управления только насосно-компрессорным оборудованием (11) — не более 0,022.

Таким образом, можно констатировать, что при эксплуатации потенциально опасных объектов, включая объекты таких отраслей, как нефтегазохимическая и производственно-транспортный комплекс:

- на основе результатов многолетних исследований в области надёжности операторов АЭС можно произвести оценку надёжности операторов практически любых производств, но с учётом только их технических возможностей, поскольку психологическая подготовка, объёмы и качество тренировок операторов в различных отраслях существенно отличаются;
- при использовании передовых достижений в области инженерной психо-

логии и художественном конструировании систем информационной поддержки, систем поддержки оценки ситуации, принятия и реализации решения, а также достижений в области мониторинга состояния оборудования в различных отраслях промышленности [5, 7, 17], возможно оценить вероятность пропуска опасного состояния оборудования с учетом статической (S), динамической (D) ошибок и влияния человеческого фактора (H):

- для системы диагностики и мониторинга технического состояния, представленной в [5, 7, 17] и используемой на объектах нефтегазохимической отрасли и производственно-транспортного комплекса, вероятность R пропуска опасного состояния оборудования не превышает 0,022;
- систему диагностики и мониторинга технического состояния [5, 7, 17] можно отнести к системам 1-го класса согласно требованиям [2].

Литература

1. Ветошкин А. Г. Надёжность технических систем и техногенный риск. — Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. — 155 с.
2. ГОСТ Р 53564–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. — М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010. — 20 с.
3. Мониторинг опасных производств. Термины и определения (СТО 03-002-08)/Стандарт НПС «РИСКОМ». Сер. 03. — В кн.: Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации. — М.: НПС «РИСКОМ», 2008, с. 5–24.
4. ГОСТ Р 53563–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации. — М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010. — 8 с.
5. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства. — М.: Машиностроение, 2002. — 224 с.
6. Костюков В. Н. Науменко А. П. Оценка риска выбора нормативных величин диагностических признаков. — Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 4. С. 150–154.
7. Костюков В. Н., Костюков А. В. Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени. — М.: Машиностроение, 2009. — 192 с.
8. Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Науменко А. П. и др. Новое в российской электротехнике. — Ежемесячный научно-технический электронный журнал. 2014. № 3. С. 30–44 (URL: www.energo-press.info).
9. Анохин А. Н., Острейковский В. А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. — М.: Энергоатомиздат, 2001. — 344 с.
10. ГОСТ Р МЭК 62508–2014. Менеджмент риска. Анализ влияния на надёжность человеческого фактора.
11. Адаменко А. Н., Ашеров А. Т., Бердиников И. Л. и др. Информационно-управляющие человеко-машины системы/Исследование,

- проектирование, испытания // Справочник. — М.: Машиностроение, 1993. — 528 с.
12. Острейковский В.А. Теория надёжности. — М.: Высшая школа, 2003. — 463 с.
13. Swain A.D., Guttmann H.E. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant application (NUREG/CR-1278). — Springfield: National Technical Information Service, 1983. — 728 р.
14. Bello G.C., Colombari V. The human factors in risk analysis of process plant: the control room operator model «TESEO». — Reliability Engineering. 1985. V. 1. P. 3–14.
15. Острейковский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 352 с.
16. Деревянкин А.А. Исследование, разработка и применение методов оценки надёжности персонала при проведении вероятностного анализа безопасности атомных станций/Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: 1991. — 26 с.
17. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР-КОМПАКС®). — М.: Машиностроение, 1999. — 163 с.
18. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств. — Нефтепереработка и нефтехимия. 2006. № 10. С. 38–47.
19. Костюков В.Н., Науменко А.П. Разработка и внедрение систем диагностики и мониторинга поршневых компрессоров. — Компрессорная техника и пневматика. 2011. № 5. С. 31–36.
- References**
1. Vетoshkin A.G. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk [Engineering Systems Reliability and Technology-related Risk]. Penza, PGUAS Publ., 2003, 155 p. (in Russ.).
2. GOST R 53564–2009. Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Monitoring sostoyaniya oborudovaniya opasnykh proizvodstv. Trebovaniya k sistemam monitoring [Condition monitoring and diagnostics of machines. Hazardous equipment monitoring. Requirements for monitoring sys-
- tems]. Moscow, STANDARTINFORM, 2010. 20 p. (in Russ.).
3. STO 03-002-08. Monitoring opasnykh proizvodstv. Terminy i opredeleniya. Standart NPS «RISKOM». Ser. 03 [Hazardous equipment monitoring. Terms and definitions. Standard of NPS «RISKOM». Ser. 3]. In: Monitoring oborudovaniya opasnykh proizvodstv. Standart organizatsii [Hazardous equipment monitoring. Company's standard]. Moscow, NPS «RISKOM», 2008, pp. 5–24 (in Russ.).
4. GOST R 53563–2009. Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Monitoring sostoyaniya oborudovaniya opasnykh proizvodstv. Poryadok organizatsii [Condition monitoring and diagnostics of machines. Hazardous equipment monitoring. Organizational procedures]. Moscow, STANDARTINFORM, 2010, 8 p. (in Russ.).
5. Kostyukov V.N. Monitoring bezopasnosti proizvodstva [Production Safety Monitoring]. Moscow, Mashinostroenie, 2002, 224 p. (in Russ.).
6. Kostyukov V.N. Naumenko A.P. Dinamika sistem, mehanizmov i mashin [Dynamics of System, Mechanisms and Machines (Dynamics)]. 2014, no. 4, pp. 150–154 (in Russ.).
7. Kostyukov V.N., Kostyukov A.V. Povyshenie operatsionnoj effektivnosti predpriyatij na osnove monitoringa v real'nom vremenii [Improving Companies' Operational Efficiency on the Basis of Real-Time Monitoring]. Moscow, Mashinostroenie, 2009, 192 p. (in Russ.).
8. Kostyukov V.N., Boychenko S.N., Naumenko A.P. et al. Ezhemesyachnyj nauchno-tehnicheskiy elektronnyj zhurnal [Monthly Scientific and Technical e-Journal]. 2014, no. 3, pp. 30–44 (in Russ.) (URL: www.energo-press.info).
9. Anokhin A.N., Ostreykovskiy V.A. Voprosy ergonomiki v yadernoj energetike [Questions of Ergonomics in the Nuclear Power Industry]. Moscow, Energoatomizdat, 2001, 344 p. (in Russ.).
10. GOST R IEC 62508–2014. Menedzhment riska. Analiz vliyanija na nadezhnost' chelovecheskogo faktora [Risk management. Impact analysis to dependability of human aspects]. Moscow, STANDARTINFORM, 2015, 45 p. (in Russ.).
11. Adamenko A.N., Asherov A.T., Berdnikov I.L. et al. Informatsionno-upravlyayushchie cheloveko-mashinnye sistemy. Issledovanie, proektirovanie, ispytaniya. Spravochnik [Information-Management systems. Research, Design, Testing. Handbook]. Moscow, Mashinostroenie, 1993, 528 p. (in Russ.).
12. Ostreykovskiy V.A. Teoriya nadezhnosti [Reliability Theory]. Moscow, Vysshaya shkola, 2003, 463 p. (in Russ.).
13. Swain A.D., Guttmann H.E. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application (NUREG/CR-1278). Springfield, National Technical Information Service, 1983, 728 p.
14. Bello G.C., Colombari V. The Human Factors in Risk Analysis of Process Plant: the Control Room Operator Model «TESEO». Reliability Engineering, 1985, vol. 1, pp. 3–14.
15. Ostreykovskiy V.A., Shvyryev Yu.V. Bezopasnost' atomnykh stantsiy. Veroyatnostnyj analiz [Safety of Nuclear Power Plants. Probabilistic Analysis]. Moscow, FIZMATLIT, 2008, 352 p. (in Russ.).
16. Deryevyankin A.A. Issledovanie, razrabotka i primenie metodov otseki nadezhnosti perсonala pri provedenii veroyatnostnogo analiza bezopasnosti atomnykh stantsiy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Research, Development and Application of Staff Reliability Assessment Methods at Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants. Synopsis of Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1991, 26 p. (in Russ.).
17. Kostyukov V.N., Boychenko S.N., Kostyukov A.V. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya bezopasnoj resursosberegayushchey ekspluatatsijskoy oborudovaniya neftopererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv (ASU BER-KOMPAKS®) [Automated Control Systems of Safe Resource-Saving Equipment Operation at Oil-Refining and Petrochemical Plants (ASU BER-KOMPAKS®)]. Moscow, Mashinostroenie, 1999, 163 p. (in Russ.).
18. Kostyukov V.N., Naumenko A.P. Neftpererabotka i neftekhimiya [Oil-processing and Petrochemistry]. 2006, no. 10, pp. 38–47 (in Russ.).
19. Kostyukov V.N., Naumenko A.P. Kompressornaya tekhnika i pnevmatika [Compressors & Pneumatics]. 2011, no. 5, pp. 31–36 (in Russ.).

Статья получена 18 февраля 2016 г.,
в окончательной редакции — 11 марта

Начало на стр. 66

маятником массой 80 кг и молотком массой 5 кг.

В результате работы определили, что шум окружающей среды составляет от 1 до 10 кПа в низкочастотном диапазоне (<10 Гц), шумоподавление в свою очередь требует очень точного позиционирования датчиков и знания макета системы труб. Уровень давления шума, производимый сторонними помехами и утечками, составляет от 0,1 до 2 кПа в местоположении источника. Энергия воздействия (от 500 до 1000 Дж) может быть обнаружена в полосе частот от 50 до 300 Гц на расстоянии до 10 км.

Giuseppe Giunta, Giancarlo Bernasconi, Silvio Del Giudice. Pipeline Monitoring with Vibroacoustic Sensing. — Materials Evaluation. July 2015. V. 73. No. 7, pp. 979–986.



Мониторинг трубопроводов с использованием виброакустических датчиков

В рамках научно-исследовательского проекта была разработана виброакустическая система для дистанционного мониторинга трубопроводов в режиме реального времени, которая обнаруживает утечки и другие сторонние помехи. Система состоит из сети датчиков давления и вибрации, которые устанавливаются на трубопроводе на расстоянии десятков километров друг от друга.

Акустические и упругие волны распространяются вдоль трубопровода, отображаются на станциях мониторинга.

В данной статье представлены экспериментальные результаты, полученные в ходе исследований на следующих эксплуатируемых трубопроводах природного газа: трансредиземноморский (TransMed) газопровод от Туниса до Италии, трубопровод Spluga (северная Италия) между Milano и Lecco, испытательная лаборатория газопроводов Centro Sviluppo Materiali в Сардинии, канал морских трубопроводов Messina.

Во время экспериментов трубопроводы были проверены на герметичность, произведены испытания на удар

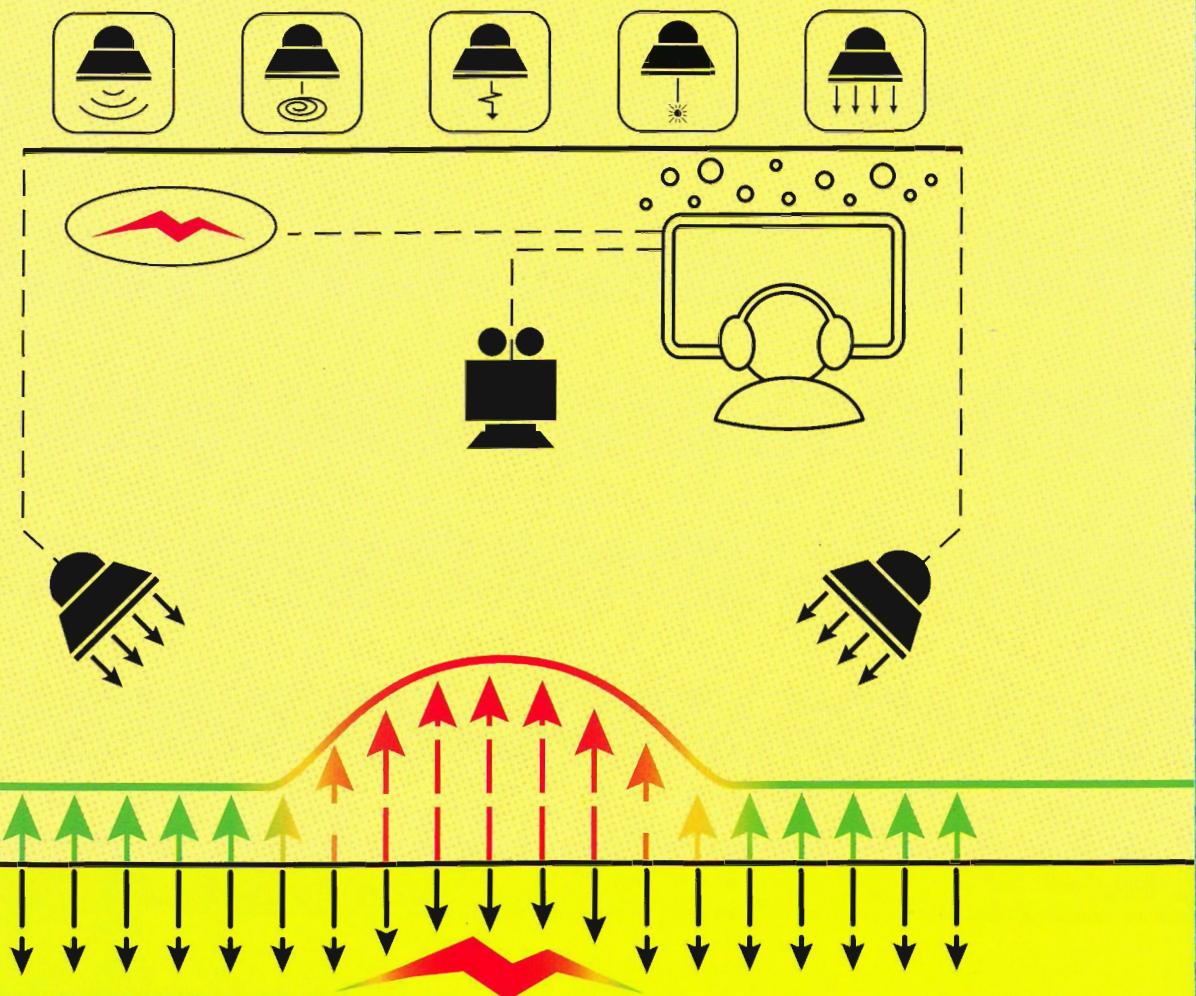
ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 1609-3178

В МИРЕ НК

В МИРЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

2016. Том 19. № 1



Тема номера:
Активная термография

Активная термография

В.П. Вавилов, А.О. Чулков, Д.А. Дерусова, Я. Пань.
Новые идеи в активном тепловом контроле.....5

М. Вандельт, Т. Крёгер, М. Йоханнес. Активная термография — эффективный метод неразрушающего контроля крупногабаритных изделий из композиционных материалов8

А. Бариска, Н. Райнке, В.А. Сясько. Активный синхронный термодинамический метод измерения толщины диэлектрических покрытий.....14

Д.М. Поплавски. Исследование сложной структуры композитов из углепластика/стеклопластика методом активной термографии18

Д.А. Дерусова, В.П. Вавилов. Неразрушающий контроль материалов методом резонансной ультразвуковой инфракрасной термографии21

В.А. Захаренко, А.А. Вальке, Д.Г. Лобов. Термографический контроль свода рекуперативной печи в производстве минеральной ваты.....24

С.О. Козельская, О.Н. Будадин. Тепловой метод контроля качества композитных броневых преград на основе их энергопоглощающей способности.....27

Ультразвуковой контроль

С.И. Трифонова, А.С. Генералов, М.А. Далин. Современные технологии и средства теневого ультразвукового контроля полимерных композиционных материалов31

В.Т. Бобров, В.Г. Шевалдыкин.
Многократные ультразвуковые эхо-сигналы в пластине. Анализ и применение36

Представляем спонсора журнала

MR Chemie GmbH42

Магнитный контроль

Ю.В. Арефьев, А.А. Шалыго. Опыт применения коэрцитиметрии при исследовании технического состояния строительных металлоконструкций44

События в мире НК

Форум «Территория NDT»: Москва, 2–4 марта 2016 г.51

Совещание «Метрологическое обеспечение неразрушающего контроля покрытий в Российской Федерации»52

VIII Всероссийская конференция «ТестМат»54

Радиационный контроль

С. В. Шаблов, Д. А. Белов. Импортозамещение: положительный опыт.
Испытания и применение радиографической плёнки Р5 «АСК-РЕНТГЕН-ИДЕЛЬ»56

И.А. Вайнберг, Э.И. Вайнберг, С.Г. Цыганов, В.Б. Сидорин.
Применение высокознергетической компьютерной томографии в автомобилестроении58

Рефераты статей

М.В. Розина, Т.Ю. Шарапова, А.С. Сужаева. Рефераты статей в научной периодике66, 77

Метрология

Л.С. Бабаджанов, М.Л. Бабаджанова, Т.А. Корюшкина.
О сроке службы мер толщины покрытий цинка на стали69

В.Н. Костюков, А.П. Науменко. Влияние человеческого фактора на оценку вероятности пропуска отказа системой мониторинга72

Сертификация персонала

А.А. Марков, С.Л. Молотков, М.О. Миронов. Повышение квалификации кадров как часть системного подхода к улучшению качества контроля рельсов78



Уважаемые друзья и коллеги!

Первый квартал 2016 г. должен был стать моментом истины для промышленности России и Мира Неразрушающего Контроля как её части. Так и произошло, и я с удовлетворением отмечаю, что Мир НК устоял и даже (!) нашел внутренние резервы для развития. На Форуме NDT в Москве было представлено 11 (ОДИННАДЦАТЬ!) новых приборов, причём в ряде случаев разработанные приборы относились к «боковым трендам», далёким от основной специализации фирм-разработчиков. Это очевидный успех, и я с удовольствием присоединяюсь к Вашим поздравлениям.

Тем не менее общие проблемы затрагивают и нашу область деятельности. На сайте журнала в разделе «Новости наших партнёров» размещены «Предложения экспертного сообщества», опубликованные в журнале «Технадзор», это стоит прочитать. Информацию для размышлений Вы найдете также в №2(208) журнала «Точка опоры».

Также информирую Вас, что в рамках обмена информацией мы будем рефериовать журналы «Безопасность труда в промышленности», «Нефтегаз», соответственно рефераты работ наших авторов будут размещаться в этих журналах и на сайте Московского межотраслевого альянса главных сварщиков (ММАГС).

Здоровья, упорства, новых знаний, уверенности в своей востребованности!

Искренне ваш,

A. K. Гурвич

Изменились
телефоны редакции:

(812) 670 76 09
(812) 670 76 11

СПОНСОРЫ ЖУРНАЛА

КРОПУС
Научно-Производственный Центр


Кропус

Ведущий производитель современных средств неразрушающего контроля и технической диагностики


MR® Chemie

Высококачественные расходные материалы и оборудование для неразрушающего контроля


ACK-РЕНТГЕН

Надёжный поставщик оборудования и расходных материалов для цифровой и классической радиографии европейского качества.