

# ОЦЕНКА РИСКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

*В.Н. Костюков, А.П. Науменко, Ан.В. Костюков,  
Научно-производственный центр «Динамика», г. Омск*

Современная эксплуатация оборудования объектов производственно-транспортного комплекса (ОПТК) немыслима без использования специальных систем мониторинга технического состояния. В настоящее время объекты производственно-транспортного комплекса (ОПТК) различают по степени влияния на безопасность, экономику и экологию страны: объекты технического регулирования (ОТР), опасные производственные объекты (ОПО), критически важные объекты (КВО), стратегически важные объекты (СВО) [1, 2]. Понятно, что для мониторинга технического состояния этих объектов должны использоваться системы различных классов. Принципы построения систем мониторинга изложены в [3, 4] и отражены в стандартах [10-15]. Системы мониторинга (СМ) должны обеспечивать получение информации о состоянии оборудования (объекта мониторинга) в необходимом количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости его технического состояния. По результатам наблюдения СМ должны заблаговременно вырабатывать управляющие воздействия, которые обеспечивают необходимый запас устойчивости технологической системы, качество ее функционирования, создают необходимый запас ее техногенной, экологической и экономической безопасности [17]. Такие системы составляют основу автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования в реальном времени в рамках всего предприятия – АСУБЭР [3].

Для реализации автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования необходимо построение СМ с использованием ряда принципов и следующих наиболее важных свойств и характеристик [11, 13]:

1. Количество и вид используемых методов неразрушающего контроля (МНК).
2. Тип экспертной системы.
3. Объем выявляемых неисправностей.
4. Величина статической ошибки распознавания состояния оборудования.
5. Величина динамической ошибки распознавания состояния оборудования.
6. Величина риска пропуска внезапного отказа.
7. Число измерительных каналов системы.
8. Способ опроса датчиков.
9. Архитектура системы.
10. Тип используемого анализатора сигналов.
11. Тип индикатора состояния.
12. Наличие и уровень диагностической сети.
13. Тип управления.

Эти факторы положены в основу классификации систем, предлагаемых производителями для внедрения на критических ОПТК, с целью определения классов оборудо-

дования на которых они могут быть полезны. Совокупность этих взаимосвязанных факторов, определяет суть каждой конкретной системы и не допускает произвольных вариаций. Внутри каждого фактора выделяется несколько уровней, оцениваемых в баллах от 2 до 4 (табл. 1).

По количеству и виду используемых МНК различают комплексные системы, использующие набор различных МНК –  $R_1=1$ , и специализированные системы, использующие один из МНК –  $R_1=2$ .

По типу экспертной системы различают: системы поддержки принятия решений (ЭСППР) –  $R_2=1$ ; диагностические (ЭСД) –  $R_2=2$ ; системы индикации состояния (СИС) –  $R_2=3$ . Системы индикации состояния осуществляют только определение технического состояния объекта, без указаний на вид неисправности. Диагностические системы наряду с определением технического состояния должны определять одну или несколько причин (вид) неисправного состояния объекта. Экспертные системы поддержки принятия решений включают свойства диагностических систем и должны автоматически выдавать целеуказующие предписания персоналу для предотвращения опасного состояния объекта и приведения его в нормальное состояние.

По объему выявляемых неисправностей различают: системы широкого класса [5], выявляющие неисправности различных узлов агрегата, а также неисправности в его работе по технологической схеме установки –  $R_3=1$ ; системы узкого класса, выявляющие неисправности только одного узла агрегата –  $R_3=2$ , например подшипника.

Статическая ошибка распознавания есть пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное. По вероятности ошибки статического распознавания различают: системы низкой ошибки ( $< 5\%$ ) –  $R_4=1$ ; системы средней ошибки ( $5...30\%$ ) –  $R_4=2$ ; системы высокой ошибки ( $> 30\%$ ) –  $R_4=3$ .

Классификация по динамической ошибке распознавания аналогична классификации по статической ошибке, но здесь под ошибкой понимают пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что период мониторинга (диагностирования) соизмерим с интервалом развития неисправности от момента ее обнаружения до предельного состояния оборудования. Период мониторинга может достигать нескольких секунд у стационарных систем и нескольких дней и даже лет у переносных систем. Следует отметить, что быстродействие систем мониторинга должно быть существенно выше скорости развития дефектов защищаемого оборудования. Для оценки общей ошибки систем мониторинга вводится понятие риска пропуска опасного состояния оборудования – совокупность статической, динамической ошибок и ошибки из-за влияния человеческого фактора, обусловленного несвоевременным выполнением персоналом предписаний системы мониторинга по устранению обнаруженного системой опасного состояния оборудования. По величине риска также различают: системы низкой ошибки ( $< 5\%$ ) –  $R_6=1$ ; системы средней ошибки ( $5...30\%$ ) –  $R_6=2$ ; системы высокой ошибки ( $> 30\%$ ) –  $R_6=3$ . Важными факторами классификации являются параметры архитектуры систем. Здесь устанавливается разделение по числу измерительных каналов системы

[многоканальные ( $R_7=1$ ), одноканальные ( $R_7=2$ )], по способу опроса датчиков [универсальные параллельно-последовательные ( $R_8=1$ ), параллельные ( $R_8=2$ ), последовательные ( $R_8=3$ )], по архитектуре [распределенные ( $R_9=1$ ), сосредоточенные ( $R_9=2$ )]. Последовательные системы осуществляют поочередное измерение сигналов и их обработку. Последовательные измерения могут проводиться как автоматически, так и человеком-оператором (переносные системы). Параллельные системы осуществляют одновременное измерение сигналов и их последующую обработку. Универсальные (параллельно-последовательные) системы имеют смешанную структуру: устанавливаются группы каналов, внутри группы каналы измеряются последовательно, и затем осуществляется параллельная обработка выходных сигналов групп и/или наоборот. Вся аппаратура сосредоточенной системы (за исключением датчиков) размещается в одном месте. Аппаратура распределенной системы может размещаться непосредственно в близости или на объекте мониторинга.

По типу используемого анализатора сигналов различают векторные ( $R_{10}=1$ ) и скалярные ( $R_{10}=2$ ) системы. В скалярных системах результатом работы анализатора сигналов являются скалярные числа (общий уровень вибрации, температура и т.д.). Векторные системы в результате обработки информации наряду со скалярными значениями должны выдавать одномерные и многомерные массивы, производить спектральную, корреляционную и др. математическую обработку.

По типу индикатора состояния объекта мониторинга различают комплексные ( $R_{11}=1$ ), многоуровневые ( $R_{11}=2$ ) и простые ( $R_{11}=3$ ) системы. Простые индикаторы состояния имеют только функцию отображения состояния объекта. Многоуровневые индикаторы состояния наряду с отображением состояния объекта должны иметь функции отображения состояний и параметров различных его составных частей. Комплексные индикаторы состояния включают в себя функции многоуровневых индикаторов и должны отображать: даты пуска/останова систем и агрегатов, их наработки, прогноз остаточного ресурса, а также выводят информацию по следующим каналам: звуковой вывод, печать протоколов, передача данных по сети (публикация на Web-сервере).

По наличию и уровню диагностической сети различают следующие группы систем: автоматическая диагностическая сеть ( $R_{12}=1$ ); ручная диагностическая сеть, интегрированная с переносными системами ( $R_{12}=2$ ); ручная диагностическая сеть ( $R_{12}=3$ ); отсутствие диагностической сети ( $R_{12}=4$ ). Автоматическая диагностическая сеть должна обеспечивать автоматическое представление на компьютерах удаленных пользователей полной информации о состоянии оборудования при одном обращении к сети, полученной как автоматическими стационарными системами, так и переносными (персональными) системами.

По типу управления системы разделяются на автоматические ( $R_{13}=1$ ), автоматизированные ( $R_{13}=2$ ) и ручные ( $R_{13}=3$ ). Ручные системы выполняют большинство функций мониторинга под управлением человека-оператора. Автоматизированные системы должны выполнять основные функции мониторинга автоматически, а вспомогательные – под управлением человека-оператора. Автоматические системы мониторинга должны выполнять все функции мониторинга автоматически. Человек в

автоматических системах может использоваться как звено управления для выдачи управляющих воздействий на объект.

Класс системы определяют по выражению:

$$K = \text{int}(1 + \log_A(\prod R_i)), \quad (1)$$

где  $K$  – комплексный показатель, определяющий класс системы;

$\prod R_i$  – произведение баллов, соответствующих свойствам системы;

$\text{int}$  – целая часть числа;

$A$  – основание логарифма, определяется критичностью ОПТК, например для ОТР и ОПО  $A=10$  [11]; для КВО предлагается  $A=3$  или  $A=e$  ( $e = 2,718\dots$  основание натуральных логарифмов), для СВО рекомендуется  $A=2$ . В этом случае уже при величине произведения  $\prod R_i$  равном 3 или 2, класс СМ равен 2.

Кстати, в [18] основание логарифма не указано именно из соображений последующей классификации систем для разных категорий ответственности объектов.

В таблице 1 приведены примеры расчета класса систем для различных конфигураций аппаратных и программных средств. Уменьшение основания  $A$  логарифма до 3 и далее до 2 существенно повышает требования к СМ, разрешая применять для СВО системы с наилучшими параметрами, для которых все показатели равны единице.

Для каждого класса системы устанавливаются границы применения при оснащении ОПТК [11, 13] в соответствии с риском пропуска отказов. Классификация оборудования основана на матрице риска [6, 10], учитывающей вероятность возникновения отказа и его экономические, экологические и техногенные последствия.

Таблица 1

## Примеры расчета класса систем

| № | Вид классификации                   | Параметры классификации                                 | Номер системы |   |   |   |   |   |   |
|---|-------------------------------------|---|---------------|---|---|---|---|---|---|
|   |                                     |   | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | По количеству и виду МНК            | Комплексные, специализированные (1, 2)                  | 1             | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | По типу экспертной системы          | ЭСППР, ЭСД, СИС (1, 2, 3)                               | 1             | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | По объему неисправностей            | Широкого класса, узкого (1, 2)                          | 1             | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | По статической ошибке               | Низкой, средней, высокой (1, 2, 3)                      | 1             | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | По динамической ошибке              | Низкой, средней, высокой (1, 2, 3)                      | 1             | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 6 | По риску пропуска внезапного отказа | Низкий, средний, высокий (1, 2, 3)                      | 1             | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 7 | По числу измерительных каналов      | Многоканальные, одноканальные (1, 2)                    | 1             | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 8 | По способу опроса датчиков          | Универсальные, параллельные, последовательные (1, 2, 3) | 1             | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |

|    |                                 |   |   |     |     |     |     |     |      |
|----|---------------------------------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 9  | По архитектуре                  | Распределенные, сосредоточенные (1, 2)                        | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 2    |
| 10 | По типу анализатора сигналов    | Векторный, скалярный (1, 2)                                   | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    |
| 11 | По типу индикатора состояния    | Комплексные, многоуровневые, простые (1, 2, 3)                | 1 | 1   | 1   | 1   | 2   | 2   | 1    |
| 12 | По наличию диагностической сети | Автоматические, ручные, нет (1, 2, 3, 4)                      | 1 | 1   | 1   | 2   | 2   | 2   | 1    |
| 13 | По типу управления              | Автоматические, автоматизированные, ручные (1, 2, 3)          | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 2    |
| 14 |                                 | Произведение ПР <sub>i</sub>                                  | 1 | 2   | 3   | 4   | 32  | 384 | 2592 |
| 15 | ОТР                             | Log <sub>10</sub> (ПР <sub>i</sub> )=Lg(ПР <sub>i</sub> )     | 0 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 1,5 | 2,6 | 3,4  |
| 16 |                                 | Класс (K)   | 1 | 1   | 1   | 1   | 2   | 3   | 4    |
| 17 | ОПО                             | Log <sub>6</sub> (ПР <sub>i</sub> )=Lg(ПР <sub>i</sub> )/0,77 | 0 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,9 | 3,4 | 4,4  |
| 18 |                                 | Класс (K)   | 1 | 1   | 1   | 1   | 2   | 4   | 5    |
| 19 | КВО                             | Ln(ПР <sub>i</sub> )= Lg(ПР <sub>i</sub> )/0,43               | 0 | 0,7 | 1,1 | 1,4 | 3,5 | 5,6 | 7,9  |
| 20 |                                 | Класс (K)   | 1 | 1   | 2   | 2   | 4   | 6   | 8    |
| 21 | СВО                             | Log <sub>3</sub> (ПР <sub>i</sub> )= Lg(ПР <sub>i</sub> )/0,3 | 0 | 1   | 1,6 | 2   | 5   | 8,6 | 11   |
| 22 |                                 | Класс (K)   | 1 | 2   | 2   | 3   | 6   | 9   | 12   |

Системы мониторинга 1 класса применяются для комплексного мониторинга всей технологической установки, включая объекты первой, второй и третьей категорий с возможностью автоматической блокировки опасных агрегатов и обеспечивают безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Системы 2 класса применяются для мониторинга оборудования второй и третьей категорий с возможностью автоматической блокировки опасных агрегатов и обеспечивают безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Системы 3 класса применяются для мониторинга оборудования третьей категории по фактическому техническому состоянию.

Системы 4-го и более низких классов носят вспомогательный характер.

Зависимость коэффициента увеличения временного интервала  $k_T = T_r/T_Q$  между внезапными необнаруженными отказами агрегатов при внедрении СМ –  $T_r$  и до внедрения СМ –  $T_Q$  от суммарной ошибки СМ  $\eta$  определяется по формуле [4, 7]:

$$k_T = \frac{1}{\eta - 1}. \quad (2)$$

Например, для  $\eta = 4\%$  коэффициент увеличения наработки между внезапными необнаруженными отказами агрегатов  $k_T = 24$  раза, что объясняет существенное увеличение техногенной, экономической и экологической безопасности при внедрении систем мониторинга. Даже при суммарной ошибке мониторинга в 30% выигрыш составляет не менее двух раз.

Наиболее сложной проблемой, как показывает практика, является уменьшение риска пропуска опасного состояния оборудования  $r$ , представляющего собой совокупность ошибок СДМ –  $\eta$  и человеческого фактора (ЧФ)  $h$ . В свою очередь ошибка СМ  $\eta$  является суммой статической  $S$ , динамической  $d$  ошибок:

$$r = 1 - (1 - S)(1 - d)(1 - h), \quad (3)$$

а приближенная оценка при  $(S, r, h) < 0,1$  может быть получена по формулам:

$$\eta \cong S + d, \quad r \cong \eta + h \cong S + d + h. \quad (3.1)$$

Надо отметить, что ошибка из-за влияния ЧФ аналогична динамической ошибке, поскольку увеличивает интервал запаздывания адекватной реакции персонала на предупреждения СМ. Опасное состояние оборудования может быть предотвращено персоналом, если предупреждения СДМ доводятся неукоснительно, без задержек, независимо от его воли и желаний, а иногда, если необходимо, то и принудительно через управляющее воздействие руководителя более высокого уровня управления. Именно для этого СДМ должны содержать встроенную автоматическую экспертную систему поддержки принятия решений о техническом состоянии объекта и дальнейшем управлении ( $R_2=1$ ), выявлять широкий класс неисправностей ( $R_3=1$ ), быть автоматическими ( $R_{13}=1$ ), обладать комплексным индикатором состояния с речевым предупреждением ( $R_{11}=1$ ) и автоматической диагностической сетью ( $R_{12}=1$ ), представляющей руководству объективную картину технического состояния оборудования в реальном времени. Без выполнения этих условий иметь приемлемый риск ( $r < 5\%$ ) невозможно. На уменьшение ошибок пропуска отказов направлены и другие показатели классификации. При синтезе любой системы мониторинга для распознавания технического состояния объекта важнейшим является выбор показателя, достижение которым некоторого критического значения позволяет считать, что объект перешел из одного состояния в другое. При этом не важно, что это за показатель (диагностический признак) – векторный или скалярный, измеряемый в каких-либо шкалах или вычисляемый, непрерывный или дискретный, оцениваемый экспертами в баллах и т.п. Важно, достигает он или нет критического значения [19]. Так обстоит дело в случае статического распознавания, характеризующегося статической ошибкой  $S$  – вероятностью пропуска опасного состояния объекта, когда фактор времени не является существенным. Иначе обстоит дело, когда осуществляют мониторинг состояния объекта, которое меняется во времени. В этом случае наличие статической ошибки распознавания приводит к неопределенности определения момента перехода объекта в неблагоприятное состояние, которая добавляется к неопределенности, обусловленной дискретным характером наблюдения (мониторинга), называемой ошибкой динамического распознавания  $d$ . Соответственно, увеличивается и риск пропуска опасного состояния  $r$ .

Вероятность ошибки динамического распознавания опасного состояния оборудования (динамическая ошибка) определяется вероятностью своевременного по-

крытия интервалом мониторинга  $\tau$  моментов наступления состояний «Требуется принять меры»  $t_T$  и «Недопустимо»  $t_H$  на интервале развития неисправности  $T_H$  и равно отношению интервала мониторинга  $\tau$  к интервалу развития неисправности  $T_H$  [18]:  $d = \tau/T_H$ . Наличие статической ошибки  $s$  приводит к запаздыванию момента обнаружения состояния ТПМ на интервал  $\tau_T = tT_S - t_T$ , а состояния НДП на интервал  $\tau_H = t_{HS} - t_H$ . Фактически динамическая ошибка  $d$  увеличивается на величину запаздывания, вызванную наличием статической ошибки –  $d_s$ . При наличии статической ошибки  $S$  динамическая ошибка резко возрастает вследствие запаздывания момента времени правильного распознавания состояния ТПМ  $t_{TS}$  и НДП  $t_{HS}$  на интервалы  $\tau_T$  и  $\tau_H$  соответственно:

$$d_O = d + d_S; \quad d_S = d_{ST} + d_{SH}; \quad d_{ST} = \frac{\tau_T}{T_H}; \quad d_{SH} = \frac{\tau_H}{T_H} \quad (4)$$

Рассмотрим два примера наиболее типичных трендов (траекторий деградации состояния) [4].

Можно показать, что для линейной траектории деградации технического состояния  $Y = k \times t$  динамические ошибки определяются выражениями:

$$d_{STL} = \frac{S}{1-S} \times \frac{1}{G-1}; \quad d_{SHL} = \frac{S}{1-S} \times \frac{G}{G-1}, \quad d_{SL} = \frac{S}{1-S} \times \frac{G+1}{G-1}, \quad (5)$$

где  $S$  – вероятность ошибки статического распознавания,  $G$  – отношение уровня диагностического признака «Останов» при достижении состояния «Недопустимо» (НДП) к уровню диагностического признака «Предупреждение» при достижении состояния «Требуется принять меры» (ТПМ),  $d_{STL}$  – увеличение динамической ошибки определения состояния ТПМ при линейном тренде,  $d_{SHL}$  – увеличение динамической ошибки определения состояния НДП при линейном тренде,  $d_{SL}$  – увеличение суммарной динамической ошибки при линейном тренде.

Выражения (5) показывают, что при линейном тренде деградации состояния объекта увеличение динамической ошибки определения состояния НДП в  $G$  раз больше, чем увеличение динамической ошибки определения состояния ТПМ:

$$d_{SHL} = G \times d_{STL}. \quad (6)$$

Для трендов экспоненциального типа  $Y = A \times \exp(\alpha \times t)$ ,  $Y' = \alpha \times A \times \exp(\alpha \times t)$ . Увеличение динамической ошибки определения состояния ТПМ  $d_{STE}$  и НДП  $d_{SHE}$  оказываются равны между собой  $d_{SHE}$ :

$$d_{STE} = d_{SHE} = d_{STE} = \frac{S}{1-S} \times \frac{\sqrt{G}}{G-1}. \quad (7)$$

Увеличение суммарной динамической ошибки при экспоненциальном тренде  $d_{SE}$ :

$$d_{SE} = \frac{S}{1-S} \times \frac{2\sqrt{G}}{G-1} \quad (8)$$

В таблице 2 приведены значения дополнительных динамических погрешностей для линейных и экспоненциальных трендов при крайних значениях  $G=1,25$  и  $2,5$ , наиболее часто встречающихся в стандартах [8, 9, 12, 14] в процентах от интервала развития неисправностей  $T_H$  от состояния ТПМ до состояния НДП. При  $G=1,25$  дополнительная динамическая ошибка  $d_s$  более чем в 9 раз превышает статическую.

Таблица 2

### Значения дополнительных динамических погрешностей для линейных и экспоненциальных трендов при крайних значениях $G$ в процентах от интервала $T_H$ развития неисправностей от состояния ТПМ до состояния НДП

| Статическая ошибка, S, %   | 1    |      | 4    |     | 6    |      | 10   |      |
|--|------|------|------|-----|------|------|------|------|
|  | 1,25 | 2,5  | 1,25 | 2,5 | 1,25 | 2,5  | 1,25 | 2,5  |
| Экспоненциальный тренд, дополнительная динамическая ошибка оценки момента НДП, $d_{SHE}$ , % | 4,5  | 1,1  | 18,6 | 4,4 | 28,6 | 6,7  | 49,7 | 11,6 |
| Линейный тренд, дополнительная динамическая ошибка оценки момента НДП, $d_{SHL}$ , %         | 5    | 1,65 | 20,8 | 6,9 | 31,9 | 10,6 | 55   | 18,3 |
| Экспоненциальный тренд, общая дополнительная динамическая ошибка, $d_{SE}$ , %               | 8,9  | 2,1  | 37,2 | 8,8 | 57,1 | 13,5 | 98,4 | 23,2 |
| Линейный тренд, общая дополнительная динамическая ошибка, $d_{SL}$ , %                       | 8,9  | 2,3  | 37,5 | 9,7 | 57,5 | 14,9 | 99   | 25,7 |

Наиболее сильно статическая ошибка распознавания увеличивает дополнительную динамическую ошибку при минимальном коэффициенте  $G=Y_H/Y=1,25$  для линейного тренда  $d_{SHL}$ . Уже при статической ошибке  $S=1\%$  (уровень фактора  $R_4=1$ ) дополнительная динамическая ошибка оценки состояния НДП  $d_{SHL}>5\%$ . Учитывая выражение для риска пропуска опасного состояния (3) последний также оказывается заведомо больше 5%. То есть по этим факторам:  $R_5 \geq 2$  и  $R_6 \geq 2$   $PR_i \geq 4$  при прочих факторах, равных 1, и класс СМ для ОПО равен 1, для КВО – 2, а для СВО – 3. Если  $S=6\%$  ( $R_4=2$ ), общая динамическая ошибка для трендов обоих типов при  $G=1,25$  превышает 30%. Учитывая выражение для риска пропуска опасного состояния (3), последний также оказывается заведомо больше 30%. То есть по этим факторам:  $R_4=2$ ,  $R_5=3$  и  $R_6=3$   $PR_i \geq 18$  и класс СМ для ОПО равен 2, для КВО – 3, а для СВО – 5. Такую СДМ мож-



но применять для оборудования 2-й категории ОПО и не рекомендуется применять для оборудования КВО и СВО!

### **Результаты приведенного исследования позволили:**

- установить существенное влияние ошибки статического распознавания на величину ошибки динамического распознавания и риск пропуска отказа системой мониторинга;
- получить уравнение связи между статической и динамической ошибками, инвариантное к природе рассматриваемых процессов и диагностических признаков;
- получить численные оценки увеличения динамической ошибки для линейных и экспоненциальных трендов деградации технического состояния объектов, инвариантных к их природе;
- повысить точность оценки класса СМ для ОПТК и модернизировать критерий классификации СМ применительно к КВО и СВО;
- показать пути совершенствования СМ для объектов разной степени ответственности на основе модернизированного критерия классификации;
- показать, что внедрение СДМ целесообразно даже при большом риске пропуска отказа, так, при  $r \leq 30\%$  увеличение времени безаварийной работы ОПО составляет не менее 2 раз.

### **Библиографический список**

1. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Нормирование параметров прочности и риска в обеспечении техногенной безопасности // Химическая техника. – 2011. – № 1. – С. 12-13.
2. Костюков В.Н. Мониторинг состояния и рисков эксплуатации оборудования в реальном времени – основа промышленной безопасности // В.Н. Костюков, Н.А. Махутов, А.В. Костюков. В сб.: Федеральный справочник: т. 26. – М.: НП «Центр стратегического партнерства», 2012. – 496 с.
3. 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.
4. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение. 2002. – 224 с.
5. Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учебное пособие. Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области приборостроения для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 200110 – «Приборостроение». – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.
6. Костюков А.В., Костюков В.Н. Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени. – М.: Машиностроение, 2009. – 192 с.
7. Костюков В.Н., Костюков Ал.В., Костюков Ан.В. Повышение эффективности производства на основе внедрения автоматических систем диагностики и мониторинга состояния машин КОМПАКС // Химическая техника. – 2002. – № 2. – С. 16-22.
8. ГОСТ Р ИСО 10816-1-97. Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Общие требования.
9. ГОСТ Р ИСО 10816-3-99. Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 мин-1.

10. ГОСТ Р 53563-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ. – 2010. – 8 с.
11. ГОСТ Р 53564-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010. – 20 с.
12. ГОСТ Р 53565-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010. – 8 с.
13. СА 03-002-05. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования: стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза», ассоциации нефтехимиков и нефтепереработчиков и НПС РИСКОМ / Колл. авт. – М.: Химическая техника, 2005. – 42 с. (Согласован Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 1 февраля 2005 г.).
14. СА 03-001-05. Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации: стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза», ассоциации нефтехимиков и нефтепереработчиков и НПС РИСКОМ / Колл. авт. – М.: Химическая техника, 2005. – 24 с. (Согласован Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 1 февраля 2005 г.).
15. СТО-03-002-08. Мониторинг оборудования опасных производств. Порядок организации: сб. стандартов НПС РИСКОМ // Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации / Колл. авт. – М., 2008. С. 25-63.
16. СТО 03-003-08. Мониторинг опасных производств. Термины и определения: сб. стандартов НПС РИСКОМ // Мониторинг оборудования опасных производств. Стандарт организации / Колл. авт. М., 2008. С. 5-24.
17. Костюков В.Н. Комплексный мониторинг технологических объектов опасных производств. / В.Н. Костюков, С.Н. Бойченко, А.П. Науменко, Е.В. Тарасов // Контроль и диагностика. – 2008. – № 12. – С. 8-18.
18. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций / под ред. А.А. Свешникова. – М.: Наука, 1970. – 656 с.
19. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. – М.: Советское радио, 1972. – 206 с.

# ТРУДЫ И ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

12-16 ноября 2012



**ГРУППА КОМПАНИЙ «ИНТЕРЮНИС»**

## **III Международная научно-техническая конференция**

«Акустическая эмиссия. Роль метода в системах комплексного мониторинга технического состояния опасных производственных объектов»



**НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ СОЮЗ «РИСКОМ»**

## **II научно-практический семинар**

«Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков объектов нефтепереработки и нефтехимии»

**Москва, 2013**

# СОДЕРЖАНИЕ

## II научно-практический семинар

|   |     |
|---|-----|
| «Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков объектов нефтепереработки и нефтехимии» .....                           | 7   |
| <i>Г.П. Воронин</i><br>Техническое регулирование спустя десять лет. ....  | 8   |
| <i>Н.А. Махутов</i><br>Категорирование объектов, опасностей и рисков в проблемах промышленной безопасности .....  | 19  |
| <i>Н.А. Махутов</i><br>Основы анализа рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах техносферы .....   | 28  |
| <i>М.М. Гаденин</i><br>Научные основы комплексного анализа рисков и обеспечения безопасности .....  | 46  |
| <i>А.М. Лепихин, А.П. Черняев</i><br>Методические аспекты анализа риска аварий технических систем .....   | 67  |
| <i>В.Г. Харебов, В.И. Эльманович, В.С. Едигаров, Т.А. Сурина</i><br>Стандарты ООО «ИНТЕРЮНИС» в области анализа безопасности, управления и мониторинга рисков ..... | 75  |
| <i>В.Н. Костюков, А.П. Науменко, Ан.В. Костюков</i><br>Оценка риска принятия решения в системах мониторинга .....   | 87  |
| <i>А.А. Дубов, Ал.А. Дубов</i><br>Оценка остаточного ресурса и риска на опасных производственных объектах (ОПО) с использованием экспресс-методов НК .....          | 97  |
| <i>В.Р. Ржевкин, А.Б. Самохвалов</i><br>РСМС – Программное обеспечение управления состоянием оборудования на базе оценки рисков .....                               | 104 |

## III международная научно-техническая конференция

|  |     |
|--|-----|
| «Акустическая эмиссия. Роль метода в системах комплексного мониторинга технического состояния опасных производственных объектов» ..... | 106 |
| <i>В.А. Барат, Д.А. Терентьев</i><br>Обзор материалов конференции Европейской рабочей группы по акустической эмиссии EWGAE 2012 .....  | 107 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>А.Н. Мисейко, А.В. Шведков</i><br>Изменение напряженно-деформированного состояния участка магистрального трубопровода в результате скачка трещины . . . . .  | 221 |
| <i>Ю.С. Попков, Е.А. Марков, М.В. Черных</i><br>Перспективы применения метода акустической эмиссии в системах коррозионного мониторинга оборудования нефтеперерабатывающих предприятий . . . . .  | 229 |
| <i>Н.А. Махутов, А.В. Фомин, В.И. Иванов, И.Е. Васильев, В.Н. Пермяков</i><br>Исследование напряженно-деформированных состояний с использованием методов хрупких покрытий и акустической эмиссии . . . . .  | 239 |
| <i>В.Н. Костюков, А.П. Науменко, С.Н. Бойченко, Ал.В. Костюков</i><br>Исследование АЭ-сигналов коррозионных процессов . . . . .   | 249 |
| <i>В.И. Эльманович</i><br>Гармонизация российских норм и правил в области акустической эмиссии с международными стандартами . . . . .   | 258 |
| <i>В.И. Эльманович, В.С. Едигаров, Т.А. Сурина</i><br>Технический аудит организационно-технической готовности технологических установок нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий к переводу на увеличенные межремонтные пробеги. . . . . | 260 |
| <i>Ю.П. Бородин, Д.А. Терентьев</i><br>Опыт проведения в условиях города АЭ-диагностирования газопровода высокого давления . . . . .  | 274 |
| <i>А.Н. Мисейко, А.В. Шведков</i><br>Достоверность результатов акустико-эмиссионного контроля магистральных трубопроводов . . . . .   | 281 |
| <i>А.М. Лепихин, А.П. Черняев</i><br>Методические аспекты анализа риска аварий технических систем . . . . .   | 283 |