

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ДО НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

¹Нистратов А.А., ²Нистратов Г.А.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России (РЭА), 129110, Россия, г. Москва, ул. Щепкина, 40, стр. 1,

e-mail: andrey.nistratov@gmail.com

²ООО НИИ прикладной математики и сертификации, 107564, г. Москва, ул. Краснобогатырская 2, стр. 2,

e-mail: george.icie@gmail.com

Предложен подход к прогнозированию остаточного времени до нарушения целостности системных элементов, представляемых в виде «черного ящика», на основе выявления закономерностей в их функционировании в условиях неопределенности.

Ключевые слова: анализ, безопасность, вероятность, модель, процесс, риск, система, системный элемент.

PREDICTION OF TIME BEFORE THE NEAREST LOSS OF SYSTEM ELEMENT INTEGRITY FOR THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

¹Nistratov A.A., ²Nistratov G.A.

¹The Russian Power Agency of Ministry for the Power Generating Industry, Shepkina Street 40, bld. 1, 129110 Moscow, Russia, e-mail: andrey.nistratov@gmail.com

²The Research Institute of Applied Mathematics and Certification, Krasnobogatyrskaja Street 2, Bld. 2, 107564 Moscow, Russia, e-mail: george.icie@gmail.com

The approach to predict residual time before the nearest loss of integrity of system element, represented as "a black box", on the basis of revealing laws in their operation for the conditions of uncertainty is proposed.

Key words: analysis, model, process, probability, risk, safety, system, system element.

1. Введение

Сегодня для повышения надежности и промышленной безопасности (ПБ) критически важных систем (КВС), совершенствования их технического обслуживания, обеспечения прогнозной поддержки и эффективности функционирования осуществляется мониторинг поведения системных элементов (например, отдельного оборудования или значений какого-то параметра оборудования). Под КВС в работе понимаются объекты опасного производства и применяемое оборудование (например, в угольной, нефтегазовой, нефтехимической, металлургической отраслях), энергетические, транспортные системы и др.

Оперативные данные о текущих состояниях системных элементов (например, значений параметров) становятся доступными в реальном времени. Так, для оборудования угольных шахт некоторыми из многих сотен таких разнородных параметров являются: для вентиляторов - температура подшипников ротора и двигателя, ток по фазам и напряжение статора; для модульных дегазационных установок - разряжение в трубопроводе, расход и температура метано-воздушной смеси в трубопроводе перед установкой, давление в системе сжатого воздуха и др. К отслеживаемым состояниям системных элементов могут быть отнесены такие нетрадиционные показатели, как защищенность от несанкционированного доступа, компьютерных вирусов, климатических воздействий (которые также могут оцениваться количественно, например, с помощью математического моделирования, а там, где это невозможно – с помощью экспертных оценок). Для каждого системного элемента устанавливаются диапазоны допустимых значений его состояния. Отслеживаемые значения – это данные по состоянию до и на текущий момент, но всегда всех больше интересует будущее. С использованием текущих данных ответственные лица должны иметь представление о приемлемом времени для выполнения работы по обеспечению функционирования системных элементов и системы в целом. Иначе из-за незнания остаточного временного ресурса до критичного отклонения нужные работы просто не выполняются. Т.е. из-за незнания остаточного временного ресурса до следующего критичного отклонения не предпринимается мер для предотвращения негативных воздействий на системный элемент (каковыми являются

отказы, несчастные случаи, ущербы и/или упущенная выгода из-за простоев дорогого оборудования). И наоборот, зная остаточное время до следующих критичных отклонений, можно не допустить их или соответственно подготовиться к ним и смягчить возможные негативные воздействия.

Требования к мониторингу и прогнозированию для критических систем установлены на уровне многих международных стандартов – например, ISO 13379, ISO 13381, ISO 17359, ИЕС 61508 и др. Однако, к сожалению, в мире еще не создано универсального подхода к адекватному прогнозированию будущего состояния на основе текущих данных. Слишком высок уровень неопределенности. Тем не менее, на практике для каждого конкретного случая часто используются субъективные экспертные оценки, регрессионный анализ собираемых, создаются имитационные модели.

Вышеизложенное характеризует актуальность тематики исследований.

В статье предлагается подход к прогнозированию остаточного времени до нарушения целостности системных элементов, представляемых в виде «черного ящика», на основе выявления закономерностей в их функционировании в условиях неопределенности.

2. Установление элементарных событий

Для конкретного системного элемента устанавливаются диапазоны возможных граничных значений: «в рабочих пределах», «за рабочими пределами, но в пределах нормы», «за пределами нормы». Они могут интерпретироваться аналогично светофорной сигнализации – «зеленый», «желтый», «красный» – см. рис. 1. Состояние «за пределами нормы» чревато нарушением целостности системы



Рисунок 1 Установление возможных граничных значений

Для избегания возможного перехода в состояние «за пределами нормы» необходимо осуществлять прогнозирование временного ресурса, имеющегося для принятия упреждающих мер по поступившим данным о колебаниях состояний элемента с привязкой к диапазонам. А для этого необходима формализация процессов опасного воздействия на системный элемент.

3. Вероятностная модель для прогнозирования риска нарушения целостности системного элемента

Суть модели в следующем [1-5]. Предполагается изначальная целостность системного элемента. В процессе его функционирования в результате реализации возможных угроз (технических, технологических отказов, со стороны «человеческого фактора» и др.) могут начать развиваться процессы, приводящие к нарушению целостности системного элемента. Начало (иницирование) каждого из таких процессов служит источником потенциальной опасности для обеспечения целостности. На элементе осуществляется периодический контроль целостности. Из-за различных технических и технологических причин, различного уровня квалификации специалистов, привлекаемых для контроля, недостатка, неготовности или нечувствительности измерительного оборудования, неэффективных мер поддержания или восстановления

штатного режима функционирования системного элемента и иных причин целостность элемента может быть нарушена.¹

В рамках модели развитие критичных ситуаций в системе считается не нарушающим целостности в течение заданного прогнозного периода времени, если к началу периода нарушение целостности отсутствует и в течение всего периода либо источники опасности не инициируются, либо после инициации происходит их оперативное выявление и принятие адекватных мер противодействия. Предполагается, что существуют не только средства диагностики (контроля) целостности, но и способы поддержания и/или восстановления необходимой целостности системы при выявлении источников опасности или следов их инициации. Восстановление осуществляется лишь в период системного контроля.

За основу анализа принят следующий поэтапный алгоритм возникновения опасности: сначала источник опасности появляется и начинает инициироваться, а по прошествии свойственного ему периода инициации опасность разрастается до угрожающих размеров, приводящих к нарушению целостности системного элемента. Целостность считается нарушенной лишь после того, как инициировавшийся источник приводит к нарушению штатного режима функционирования системного элемента. Если инициировавшийся источник опасности был выявлен до наступления нештатной ситуации и приняты адекватные контрмеры, считается, что целостность системного элемента не нарушена. Результатом применения очередной диагностики является полное восстановление нарушенной целостности системного элемента до приемлемого уровня или подтверждение целостности при отсутствии ее нарушения.

Модель позволяет оценить вероятность нарушения целостности системного элемента в течение заданного периода времени. Именно эта вероятность определяется как риск нарушения целостности системного элемента в течение заданного периода прогноза с учетом предпринимаемых мер периодического контроля и восстановления целостности.

Достижение приемлемого уровня риска нарушения целостности системного элемента является следствием достаточно частого диагностирования и применения эффективных средств диагностики, контроля и восстановления целостности при существующих ограничениях.

Некоторые из моделируемых случаев соотношения между периодами диагностики, временем до начала инициации источников опасности и непосредственно их развития до размеров, угрожающих целостности, приведены на рисунке 2.

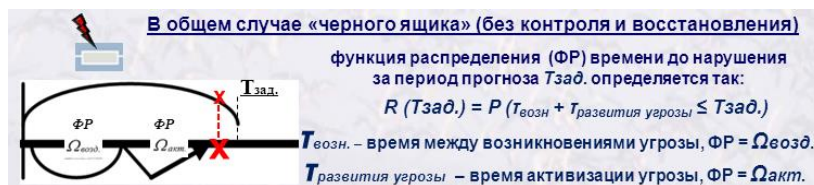


Рисунок 2 Формальный случай нарушения целостности за период прогноза

Для описания процессов возникновения и выявления опасных воздействий на системный элемент введены обозначения:

σ – частота возникновения угрозы;

β – среднее время активизации угрозы, приводящая к нарушению целостности системного элемента;

$T_{меж}$ – время между окончанием предыдущей и началом очередной диагностики целостности системного элемента;

$T_{диаг}$ – длительность диагностики, включая восстановление целостности системного элемента;

$T_{зад}$ – период прогноза.

Оценка риска нарушения целостности системного элемента $R_{наруш.}$ в течение прогнозного периода $T_{зад}$ осуществляется по формуле:

$$R_{наруш.} = 1 - P_{возд.}, \quad (1)$$

где $P_{возд.}$ – это вероятность отсутствия нарушений целостности в течение периода $T_{зад}$.

Возможны два варианта:

- вариант 1 – заданный оцениваемый период $T_{зад}$ меньше периода между окончаниями соседних диагностик ($T_{зад} < T_{меж} + T_{диаг}$);

¹ Примечание. В приложении к каждому из системных элементов понятие и показатели обеспечения и нарушения целостности должны быть конкретизированы на уровне правил, инструкций по эксплуатации, обязанностей должностных лиц КВС.

- вариант 2 - заданный оцениваемый период $T_{\text{зад}}$ больше или равен периоду между окончаниями соседних диагностик ($T_{\text{зад}} \geq T_{\text{меж}} + T_{\text{диаг}}$), т.е. за это время заведомо произойдет одна или более диагностик.

Для варианта 1 при условии независимости исходных характеристик вероятность $P_{\text{возд}(1)}(\sigma, \beta, T_{\text{меж}}, T_{\text{диаг}}, T_{\text{зад}})$ отсутствия нарушений целостности в течение периода $T_{\text{зад}}$ вычисляются по формуле (как распределение от суммы времен возникновения и инициации опасности на момент завершения периода прогноза $T_{\text{зад}}$ – см. рис. 4.2):

$$P_{\text{возд}(1)} = \begin{cases} (\sigma - \beta^{-1})^{-1} \{ \sigma e^{-T_{\text{зад}}/\beta} - \beta^{-1} e^{-\sigma T_{\text{зад}}} \}, & \text{если } \sigma \neq \beta^{-1}, \\ e^{-\sigma T_{\text{зад}}} [1 + \sigma T_{\text{зад}}], & \text{если } \sigma = \beta^{-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Именно эту формулу предлагается использовать для оценки вероятности отсутствия нарушений целостности без какой-либо диагностики в предположении, что к началу $T_{\text{зад}}$ целостность системного элемента обеспечена.

Второй вариант для реализации предлагаемого подхода не требуется, т.к. необходимо определить ресурс времени, если ничего для предотвращения нарушения целостности не предпринимать. По сути формализации требуется определить такое максимальное значение $x = \beta$ (отличное от 0), что за время прогноза $T_{\text{зад}} = x$ для допустимого уровня вероятности успеха $P_{\text{доп}}$ будут отсутствовать нарушения целостности с вероятностью не ниже $P_{\text{доп}}$, т.е. найти такое x , что:

$$P_{\text{возд}(1)}(\sigma, x, T_{\text{меж}}, T_{\text{диаг}}, x) = P_{\text{доп}}.$$

Решение существует, поскольку функция непрерывна и при возрастании β от 0 до ∞ и остальных фиксированных параметрах значение $P_{\text{возд}(1)}(\sigma, \beta, T_{\text{меж}}, T_{\text{диаг}}, T_{\text{зад}})$ возрастает от 0 до 1, а при возрастании $T_{\text{зад}}$ от 0 до ∞ и остальных фиксированных параметрах значение $P_{\text{возд}(1)}(\sigma, \beta, T_{\text{меж}}, T_{\text{диаг}}, T_{\text{зад}})$ убывает с 1 до 0.

$$P_{\text{возд}(1)} = \begin{cases} (\sigma - x^{-1})^{-1} \{ \sigma e^{-1} - x^{-1} e^{-\sigma x} \}, & \text{если } \sigma \neq x^{-1}, \\ e^{-\sigma x} [1 + \sigma x], & \text{если } \sigma = x^{-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Тем самым, задавая, например, два допустимых значения: $P_{\text{доп}}(\sigma, x_1) = 0.95$ и $P_{\text{доп}}(\sigma, x_2) = 0.99$, для известной частоты возникновения угроз σ (определяется по статистике как частота перехода в «желтую» зону) получится искомый интервал времени (x_1, x_2). Именно этот интервал характеризует прогнозируемое остаточное время до нарушения целостности системных элементов с доверительной вероятностью 0.95-0.99. Т.е. решение позволило перейти к закономерностям в прогнозировании остаточного времени, выражаемом только через частоты возникновения угроз σ независимо от иных параметров. Например, для частоты перехода состояний элемента в «желтую» зону 10 раз в месяц прогнозируемое остаточное время до нарушения целостности составит от 2 до 11 часов, для частоты 3 раза в месяц – от 6 до 34 часов, а для частоты 1 раз в год – от 12 до 52 суток.

Предложенный подход к прогнозированию остаточного времени до нарушения целостности системных элементов реализован в рамках системы дистанционного контроля промышленной безопасности на одном из энергетических предприятий. Подход использован в комбинации с классическим методом вычисления среднего по собираемой статистике в случае более частого возникновения угроз.

Список литературы

1. Kostogryzov A., Nistratov A., Nistratov G. “Applicable Technologies to Forecast, Analyze and Optimize Reliability and Risks for Complex Systems” // Proceedings of the 6st International Summer Safety and Reliability Seminar, Poland, Volume 3, Number 1, P. 1-14.
2. Kostogryzov A., Nistratov G. and Nistratov A., “Some Applicable Methods to Analyze and Optimize System Processes in Quality Management”, Total Quality Management and Six Sigma, InTech, 2012. P. 127-196. <http://www.intechopen.com/books/total-quality-management-and-six-sigma/some-applicable-methods-to-analyze-and-optimize-system-processes-in-quality-management>
3. Kostogryzov A., Grigoriev L., Nistratov G., Nistratov A., Krylov V. “Prediction and Optimization of System Quality and Risks on the Base of Modelling Processes”, American Journal of Operations Research, Special Issue, Volume 3, Number 1A, 2013. P.217-244 . <http://www.scirp.org/journal/ajor/>
4. Kostogryzov A., Nistratov G. and Nistratov A., The Innovative Probability Models and Software Technologies of Risks Prediction for Systems Operating in Various Fields. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 3, Issue 3, September 2013. P. 146-155. <http://www.ijeit.com/archive.php>

5. A.I. Kostogryzov A.I., Stepanov P.V., Nistratov G.A., Nistratov A.A., Grigoriev L.I., Atakishchev O.I. Innovative Management Based on Risks Prediction, Information Engineering and Education Science – Zheng (Ed.). ©2015 Taylor & Francis Group, London, P. 159-166.

References

1. Kostogryzov A., Nistratov A., Nistratov G. “Applicable Technologies to Forecast, Analyze and Optimize Reliability and Risks for Complex Systems” // Proceedings of the 6st International Summer Safety and Reliability Seminar, Poland, Volume 3, Number 1, P. 1-14.
2. Kostogryzov A., Nistratov G. and Nistratov A., “Some Applicable Methods to Analyze and Optimize System Processes in Quality Management”, Total Quality Management and Six Sigma, InTech, 2012. P. 127-196. <http://www.intechopen.com/books/total-quality-management-and-six-sigma/some-applicable-methods-to-analyze-and-optimize-system-processes-in-quality-management>
3. Kostogryzov A., Grigoriev L., Nistratov G., Nistratov A., Krylov V. “Prediction and Optimization of System Quality and Risks on the Base of Modelling Processes”, American Journal of Operations Research, Special Issue, Volume 3, Number 1A, 2013. P.217-244 . <http://www.scirp.org/journal/ajor/>
4. Kostogryzov A., Nistratov G. and Nistratov A., The Innovative Probability Models and Software Technologies of Risks Prediction for Systems Operating in Various Fields. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 3, Issue 3, September 2013. P. 146-155. <http://www.ijeit.com/archive.php>
5. A.I. Kostogryzov A.I., Stepanov P.V., Nistratov G.A., Nistratov A.A., Grigoriev L.I., Atakishchev O.I. Innovative Management Based on Risks Prediction, Information Engineering and Education Science – Zheng (Ed.). ©2015 Taylor & Francis Group, London, P. 159-166.