

2008. – Спеціальний випуск. – С. 77–80.**4. Девин, Л. Н.** Акустико-эмиссионная измерительная система для контроля за состоянием режущих инструментов [Текст] / Л. Н. Девин, Т. В. Нимченко, А. А. Осадчий // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – 2008. – Вип.2 (17). – С. 105–108.**5. Каталог "Охранная и охранно-пожарная сигнализация".** – №2005. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.tehbezpeka.com.ua/papers/papers> 30.php. – 2005.**6. Хорев, А. А.** Способы и средства защиты информации. / А. А. Хорев – М.: МО РФ, 2000. – 316 с.**7. Хорошко, В. О.** Методы и средства защиты информации [Текст] / В. О. Хорошко, А. А. Чекатков – К.: Издательство Юниор, 2003. – 504 с. **8. Нимченко, Т. В.** Исследование демпфирующих способностей вставок датчиков акустической эмиссии на основе никелида титана [Текст] / Т. В. Нимченко, Л. Н. Девин, Л. А. Борковская // Вісник інженерної академії України. - 2007. - №3,4. - С.174–177.**9. Филоненко, С. Ф.** Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика [Текст] / С. Ф. Филоненко – К.: КМУГА, 1999. – 312 с.**10. Filonenko, S.** Two approaches to the description of acoustic emission signals in the kinetic model of composite destruction [Text] / S. Filonenko, V. Kalita, T. Nimchenko // AVIATION 2011. – 2011. – P. 31–37.

References (transliterated): **1. Nimchenko, T. V., Stakhova, A. P.** (2009). Modern hardware and software tools for the study of acoustic emission signals. Science and youth. Applied series: a collection of scientific papers, 84–87.**2. Nimchenko, T. V., Stakhova, A. P.** (2007). Modeling IBC equipment to record continuous acoustic emission. Electronics and management, 4, 112–115. **3. Nimchenko, T. V., Ornatskyy, D. P., Lobodenko, A. M.** (2008). The use of modern technologies in the construction of SMD-intensive detektuyuchoho tract acoustic emission signals. Collected Works "Data Protection", Special Issue, 77–80.**4. Devin, L. N., Nimchenko, T. V., Osadchiy, A. A.** (2008). Acoustic emission measurement system for monitoring the state of cutting tools / LN Devin T. Nimchenko, // High Technology in Mechanical Engineering : collection of scientific papers NTU "KPU", 2 (17), 105–108.**5. Catalog "Security and fire alarm system."** (2005). <http://www.tehbezpeka.com.ua/papers/papers> 30.php. **6. Horev, A. A.** (2000). Ways and means of information protection. M.: RF Ministry of Defense, 316.**7. Horoshko, V. O., Chekatkov, A. A.** (2003). Methods and means of information protection. K. : Publishing Junior, 504.**8. Nimchenko, T.V., Devin, L. N, Borkovskaya, L. A.** (2007). Investigation of the damping capacity of acoustic emission sensors inserts TiNi. Bulletin of Engineering Academy of Sciences of Ukraine, 3–4, 174–177.**9. Filonenko, S. F.** (1999). Acoustic emission. Measurement, control, diagnostika. K. : KMUGA, 312. **10. Filonenko, S, Kalita, V., Nimchenko, T.** (2011). Two approaches to the description of acoustic emission signals in the kinetic model of composite destruction . AVIATION 2011, 31–37.

Надійшла (received) 21.04.2015

УДК 621.1016-001.57

О. С. САВЕЛЬЕВА, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одесса;

Г. В. НАЛЕВА, канд. техн. наук, доц., Одесская национальная морская академия

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СТРУКТУРНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и применением для расчета показателей надежности ускоренных методов моделирования. Предложено для оценки структурной отказоустойчивости сложных систем, структурная модель которых может быть сведена к нейроподобной, использовать информационную структурную статистическую модель. На примере очистительных сооружений показана возможность сравнивать выбранные конструкции по полученным значениям показателя структурной отказоустойчивости.

Ключевые слова: ускоренное моделирование, информационные модели, показатель отказоустойчивости, проектирование, структурные статистические модели.

© О. С. САВЕЛЬЕВА, Г. В. НАЛЕВА, 2015

Введение. При разработке любого технического объекта проектировщику приходится сталкиваться с проблемой выбора на различных этапах проектирования его схем (кинематической, электрической, гидравлической, структурной и пр.), вида резервирования, материалов и т.д. Принятие многих конструкторских решений обуславливается соответствующими расчетами, опытом проектной команды, данными анализа рекламаций потребителей по аналогичным объектам. Однако, зачастую такой информации недостаточно для определения показателей надежности объекта.

Обеспечение специалиста требуемой информацией является достаточно трудоемким процессом, поскольку речь идет о необходимом количестве статистических данных по исследуемому объекту, которые не всегда возможно получить, особенно, когда речь идет о оценке надежности нового технического объекта, с большой номенклатурой комплектующих, затратного с точки зрения организации натурных испытаний [1].

Необходимые данные в этом случае специалист, разрабатывающий вопросы надежности проектируемого объекта, устанавливает исходя из собственного опыта, а конечный результат полученных количественных характеристик будет зависеть от его квалификации и корректности применяемых методов и моделей.

Современные технические объекты являются сложными системами, состоящими порой из большого количества разнородных элементов. И одновременно, становятся все жестче требования к эффективности функционирования и качеству технических объектов, поскольку выход из строя нескольких (или даже одного) из элементов системы может привести к значительным материальным потерям вследствие сбоя выпуска требуемого объема продукции, нарушения ритмичности технологического процесса, потерь сырья, необходимости проведения ремонтных работ [2]. Для обеспечения решения задач надежной работы технического объекта на всех этапах его жизненного цикла насущной задачей является применение единого информационного подхода, удовлетворяющего требованиям CALS-технологий, использование и применение соответствующего математического и программного аппарата, позволяющего значительно сократить временные затраты на проектирование и обслуживание изделия [3 – 6].

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка и внедрение информационной структурно-статистической модели для определения вероятности безотказной работы сложной системы, обеспечивающей поддержку принятия решений на всех этапах ее жизненного цикла.

Информационные основы работы структурно-статистической модели. Для решения задачи оптимизации системы по критерию надежности необходимо обладать быстродействующим методом анализа надежности, который позволяет строить оценки высокой точности, как для ненадежных систем, так и для систем высокой надежности. Правильный выбор структурной модели сложной системы обеспечивает в дальнейшем не только оптимальный подбор элементов, узлов, оборудования, но и позволит в дальнейшем минимизировать затраты на запасные части, проведение ремонтов или гарантировать отказоустойчивость на протяжении требуемого промежутка времени [7].

Статистическое моделирование в инженерной практике является одним из наиболее востребованных инструментов оценки различных качеств функциониро-

вания сложных систем. Для его эффективной реализации и повышения качества моделирования активно развиваются такие методы ускоренного моделирования как метод существенной выборки [8, 9], аналитико-статистический [10 – 12], метод расслоенной выборки [13, 14] и множество других [15].

Для систем с нагруженным резервированием процесс проектирования связан с огромным количеством дискретных операций выбора среди различных типов компонент на основании показателей их надежности или вклада в общую отказоустойчивости системы. Оптимизация таких систем с сетевой структурой, включающей несколько подсистем с резервированием k -из- n является NP -сложной задачей [15].

С точки зрения классических моделей в теории надежности, как правило, система изучается изолированно от окружающей среды. Такой подход и сетевое представление модели позволяет предложить для оценивания надежности сложной системы информационную структурно-статистическую модель (ИССМ), использующую аппарат теории вероятностей и математической статистики [1]. Модель представляет собой сеть интеллектуальных нейроподобных элементов. Программная реализация модели позволяет построить структурную модель, обучить ее, установить возможные места повреждений, организовать обработку статистики повреждений и на выходе получить число – показатель структурной отказоустойчивости сложной системы K_{CO} (рис. 1). По величине такого показателя можно

осуществлять предварительную оценку структурной отказоустойчивости системы при проектировании, использовать в информационной технологии диагностирования или восстановления структуры технического объекта. Т.о., для получения значения K_{CO} ИССМ позволяет осуществить статистически обоснованное количество экспериментов в режиме реального времени, при этом на каждом шаге эксперимента из модели удаляется по одному элементу и среднестатистической величине вероятности безотказной работы рассчитывается

сам показатель. Т.о., повреждения структуры объекта возможно рассматривать на модельном уровне. В результате, при рассмотрении возможных вариантов структуры проектируемого объекта такой подход позволяет их сравнивать по величине K_{CO} (рис. 2).

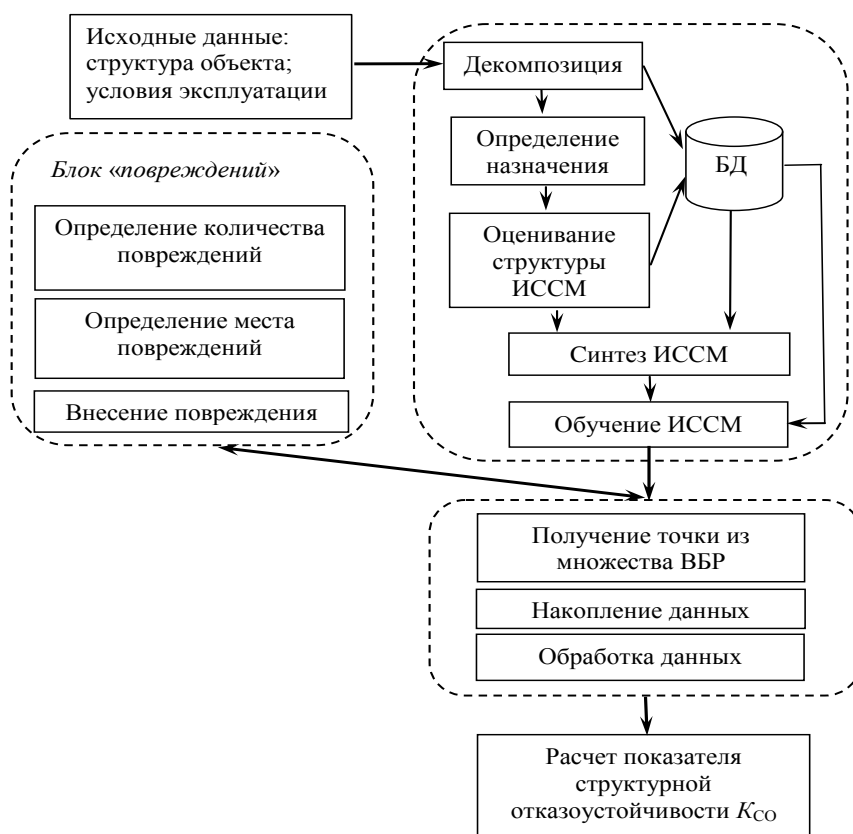


Рис. 1 – Схема процесса получения значения показателя структурной отказоустойчивости при помощи ИССМ

На входе информационной технологии сравнения предложены варианты структуры объекта и заданная нагрузка на объект. Первые необходимы для построения соответствующих вариантов структуры ИССМ, а последняя – для решения подзадачи

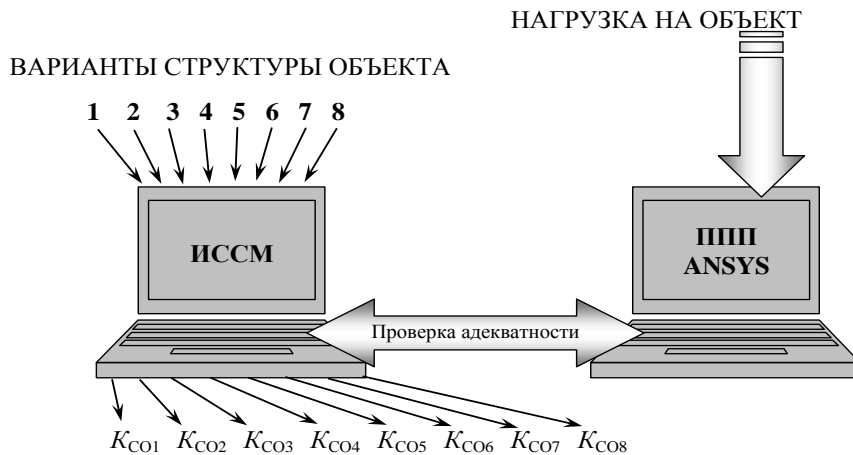


Рис. 2 – Схема информационной технологии сравнения вариантов на этапе структурного проектирования

проверки адекватности модели, если такая необходимость возникает в результате реализации технологии сравнения.

Кроме того, поскольку в составе информационной технологии работает Блок прогнозирования повреждений, возникающих на протяжении будущего жизненного цикла, то становится возможным определять значения K_{CO} и по факту изменения состояния или исчерпания некоторого ресурса (времени, пробега и т.п.).

Использование ИССМ для поддержки принятия решения на этапе выбора конструктивной схемы. Для иллюстрации возможностей применения K_{CO} как дополнительного параметра при поддержке решения о выборе наиболее оптимальной с точки зрения отказоустойчивости структурной схемы рассмотрим пример разработки конструктивной схемы очистного комплекса станции очистки балластных вод [16]. Процесс очистки сточных вод обеспечивается вследствие последовательного прокачивания загрязненной жидкости через накопительный бак, теплообменник, фильтры, сепаратор (очищенная жидкость и отделенные нефтепродукты выводятся отдельно). Структурная схема может быть представлена в следующем виде (рис. 3, а), а набор вариантов структур с нагруженным резервированием представлены на рис. 3 (б) и рис. 3 (в), соответственно.

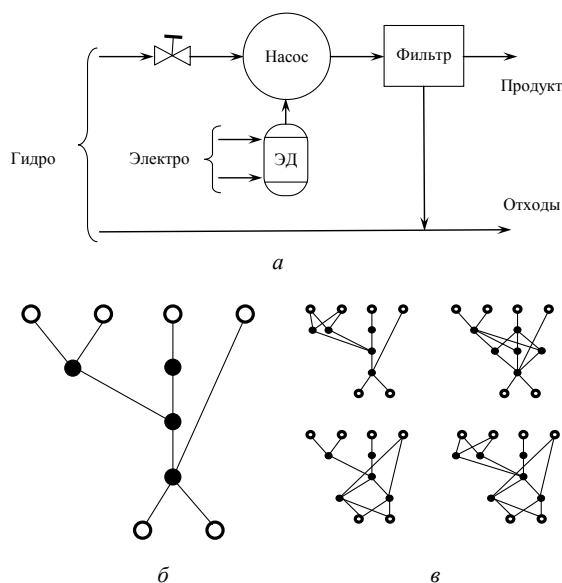


Рис. 3 – Пример преобразования конструктивной схемы объекта в исходный граф и варианты структур с резервными элементами: а – пример преобразования конструктивной схемы объекта, б – исходный граф, в – варианты структур с резервными элементами

Для решения о выборе структуры и установления нагруженного резервирования соответствующего элемента конструкции, при построении ИССМ в соответствии с приведенной на рис. 1 схемой, было рассмотрено 8 вариантов структур. Для каждого варианта рассчитано значение K_{CO} (табл. 1) [1, 16].

Таблица 1 – Результаты расчетов показателя структурной отказоустойчивости при проектировании очистных сооружений

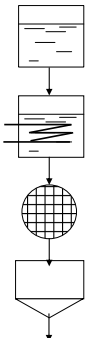
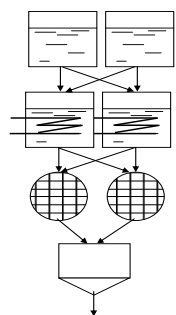
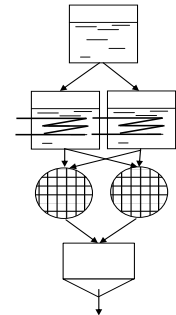
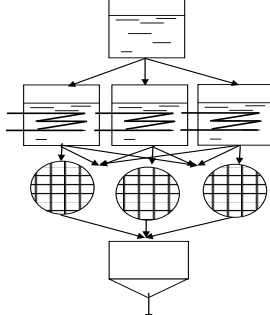
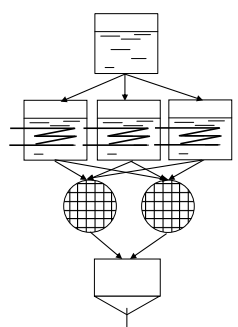
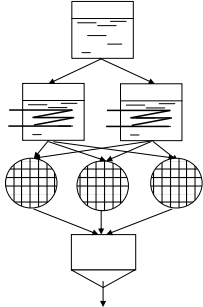
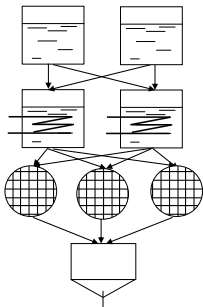
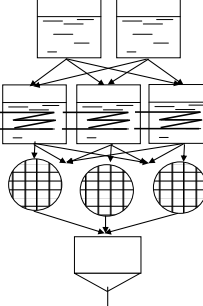
| №№ пп | Описание варианта конструктивного решения | Структура варианта | Расчетное значение показателя структурной отказоустойчивости |
|----------|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Исходный без резервирования |  | 0,451 |
| 2 | Двойное резервирование бака, теплообменника, фильтра |  | 0,454 |
| 3 | Двойное резервирование теплообменника и фильтра |  | 0,462 |
| 4 | Тройное резервирование теплообменника и фильтра |  | 0,559 |
| 5 | Тройное резервирование теплообменника и двойное фильтра |  | 0,561 |

Таблица 1 (продолжение)

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|--|-------|
| 6 | Двойное резервирование теплообменника и тройное фильтра |  | 0,562 |
| 7 | Двойное резервирование теплообменника и бака, тройное фильтра |  | 0,562 |
| 8 | Тройное резервирование теплообменника и фильтра, двойное бака |  | 0,556 |

Как видно из таблицы, наилучшие показатели имеет шестой вариант структуры. Однако значение K_{CO} для этого варианта существенно не отличается от предыдущего, а дополнительная структурная сложность объекта при этом очевидна. Эти данные могут быть учтены при принятии соответствующего проектного решения. Для данного примера на этом этапе оценивания структурной отказоустойчивости был принят лучшим вариант 5.

Предложенная ИССМ не только позволяет определить отказоустойчивость еще не существующего объекта по его структуре (например, на этапе проектирования), а следовательно реализует возможность сравнивать эти варианты по расчетным показателям структурной отказоустойчивости, и при принимать участие в прогнозировании течения будущей эксплуатации этих объектов.

Так для рассмотренных вариантов структурных схем очистных сооружений по данной методике на ресурсном интервале τ произведен расчет K_{CO} (рис. 4).

Для рассмотренных вариантов структурных схем при моделировании их повреждений и расчете структурной отказоустойчивости на ресурсном интервале, полученное значение K_{CO} позволяет осуществить аргументированный выбор определенной структурной схемы как на начальном этапе проектирования, так и выполнить оценку структурной отказоустойчивости при прогнозировании их стояний на ресурсном интервале.

Выводы. Таким образом, ИССМ не только позволяет определить структурную отказоустойчивость еще не существующего объекта, а и предоставляет возможность сравнивать выбранные конструкции по полученным значениям показателя структурной отказоустойчивости. Кроме того, предложенная методика может быть использована и для прогнозирования течения будущей эксплуатации этих сложных систем. На практике предложенный информационный статистический метод прогнозирования повреждений и идентификации отказов был испытан в рамках автоматизированной системы проектирования на станции очистки балластной воды Одесского морского порта, что позволило улучшить глубину фильтрации на 0,05 мг нефтепродуктов на 1 л балластной воды и уменьшить на 35 % расходы на эксплуатацию и ремонт технологического оборудования.

Список литературы: 1. Савельева, О. С. Экспресс-модель надежности сложных систем в САПР [Текст] / О. С. Савельева // Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб. – Одеса: ОНПУ, 2011. – Вип. 2 (36). – С. 174 – 178. 2. Краснянский, М. Н. Надежность функционирования процессов и аппаратов многоассортиментных химических производств [Текст] / М. Н. Краснянский. – М.: Машиностроение, 2010. – 116 с. 3. Гадяцкая, О. А. Оптимизация структуры сети по критерию минимума математического ожидания числа несвязанных пар узлов [Электронный ресурс] / О. А. Гадяцкая. – Эл. научн. журнал «Исследовано в России», 2008. – С. 195 – 202 с. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/015.pdf>. 4. Glynn, P. W. Importance Sampling for Stochastic Simulations [Text] / P. W. Glynn, D. L. Iglehart // Manag. Science. – 1989. – 35, № 10. – P. 1367 – 1392. 5. Smith, P. J. Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communications Systems [Text] / P. J. Smith, M. Shafi, H. Gao // IEEE Selected Areas Commun. – 1997. – 15, № 4. – P. 597–613. 6. Kovalenko, I. N. Mathematical Theory of Reliability of Time Dependent Systems with Practical Applications [Text] / I. N. Kovalenko, N. Yu. Kuznetsov, Ph. A. Pegg – Chichester: Wiley, 1997. – 303 p. 7. Андон, Ф. И. Структурные статистические модели: инструмент познания и моделирования [Текст] / Ф. И. Андон, А. С. Балабанов // Систем. дослідж. та інформ. технології. – 2007. – № 1. – С. 79 – 98. 8. Kumamoto, H. Daggestsampling Monte Carlo for System Unavailability Evaluation [Text] / H. Kumamoto, K. Tanaka, K. Inone, E. S. Henley // IEEE Trans. Reliab. – 1980. – R-29, № 2. – P. 122 – 125. 9. Шумская, А. А. Ускоренное моделирование коэффициента неготовности восстанавливаемой системы с ограниченной относительной погрешностью оценки [Текст] / А. А. Шумская // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – № 3. – С. 45 – 58. 10. Кожешкурт, В. И. Применение ускоренного моделирования для расчета оптимального количества запасных элементов, обеспечивающих требуемую надежность системы [Текст] / В. И. Кожешкурт, В. Б. Осташевский, Н. Ю. Кузнецов // Регстрація, зберігання і обробки даних, 2008. – Т. 10. – № 1. – С. 69 – 79. 11. Glasserman, P. Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities [Text] / P. Glasserman, Ph. Heidelberger, P. Shahabuddin, T. Zajic // Oper. Research. – 1999. – 47, № 4. – P. 585 – 600. 12. Fox, B. L. Discrete-Time Conversion for Simulating Finite-Horizon Markov Processes [Text] / B. L. Fox, P. W. Glynn // SIAM J. Appl. Math. – 1990. – 50, № 5. – P. 1457 – 1473. 13. Glasserman, P. Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities [Text] / P. Glasserman, Ph. Heidelberger, P. Shahabuddin, T. Zajic // Oper. Research. – 1999. – 47, № 4. – P. 585 – 600. 14. Шнак, В. Д. Аналитико-статистические оценки для обрывающихся процессов восстановления и их эффективность [Текст] / В. Д. Шнак // Кибернетика и системный анализ. – 2005. – № 1. – С. 138 – 155. 15. Кочкаров, А. А. Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты [Текст] / А. А. Кочкаров, Г. Г. Малинецкий // Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science. – Москва, 2005. – 32 с. 16. Плачинда, О. Е. Методы оценки отказоустойчивости сложных технических систем [Текст] / О. Е. Плачинда, А. Л. Становский, О. С. Савельева // Зб. наук. праць Одеськ. ін-ту сухоп. військ. – Одеса: ОІСВ, 2007. – № 14. – С. 106 – 109.

Bibliography (transliterated): 1. Saveleva, O. S. (2011). Express model of reliability of complex systems in CAD. PratsI Odesk. polItehn. un-tu: nauk. ta nauk.-virobn. zb. Odesa, V. 2 (36), 174 – 178. 2. Krasnyanskiy, M. N. (2010). Reliability of the processes and devices mnogoassortimentnyh chemical

production. – Moscow: Mashinostroenie. – 116.**3. Gadyatskaya, O. A.** (2008). Optimization of network structure on the criterion of the minimum expected number of bound pairs of nodes. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/015.pdf>. **4. Glynn, P. W. Iglehart D. L.** (1989). Importance Sampling for Stochastic Simulations. *Manag. Science.* 35, № 10, 1367 – 1392.**5. Smith, P. J. Shafi, M. Gao, H.** (1997). Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communications System. *IEEE Selected Areas Commun.* 15, № 4, 597 – 613.**6. Kovalenko, I. N. Kuznetsov, N. Yu. Pegg, Ph. A.** (1997). *Mathematical Theory of Reliability of Time Dependent Systems with Practical Applications* Chichester: Wiley, 303.**7. Andon, F. I. Balabanov, A. S.** (2007). Structural statistical models: a tool for learning and modeling. *Sistem. doslidzh. ta inform. tehnologiyi.* № 1, 79 – 98.**8. Kumamoto, H. Tanaka, K. Inone, K. Henley, E. S.** (1980). Daggestsampling Monte Carlo for System Unavailability Evaluation. *IEEE Trans. Reliab.* R-29, № 2, 122 – 125.**9. Shumskaya, A. A.** (2003). Accelerated simulation of availability of renewable systems with limited relative error of assessment. *Kibernetika i sistemnyi analiz.* № 3, 45 – 58.**10. Kozheshkurt, V. I. Ostashevskiy, V. B. Kuznetsov, N. Yu.** (2008). The use of rapid modeling to calculate the optimal amount of spare elements to ensure the required reliability. *ReestratsIya, zberIgannya i obrobka danih,* V. 10, № 1, 69 – 79.**11. Glasserman, P. Heidelberger, Ph. Shahabuddin, P. Zajic, T.** (1999). Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities. *Oper. Research.* 47, № 4, 585 – 600.**12. Fox, B. L. Glynn, P.W.** (1990). Discrete-Time Conversion for Simulating Finite-Horizon Markov Processes. *SIAM J. Appl. Math.* 50, № 5, 1457 – 1473.**13. Glasserman, P. Heidelberger, Ph. Shahabuddin, P. Zajic, T.** (1999). Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities. *Oper. Research.* 47, № 4, 585 – 600.**14. Shpak, V. D.** (2005). Analytical and statistical estimates for terminating the processes of recovery and their effectiveness. *Kibernetika i sistemnyi analiz,* № 1, 138 – 155.**15. Kochkarov, A. A. Malinetskiy, G. G.** (2005). Ensuring the stability of complex systems. *Structura***16. Plachinda, O. E., Stanovskiy, A. L., Saveleva, O. S.** (2007). Methods for assessing fault tolerance of complex technical systems. *Zb. nauk. prats Odesk. In-tu suhop. viysk. Odesa,* № 14, 106 – 109.

Поступила (received) 18.04.2015

УДК 681.5.01

А. І. ЖУЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУУ «КПІ» Київ;
В. С. ЦАПАР, ст. викл., НТУУ «КПІ» Київ

СИНТЕЗ СПОСТЕРІГАЧА СТАНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

В даній роботі проведено синтез спостерігачів стану температурного режиму скловарної печі на базі різних модифікацій фільтра Калмана. Проведено імітаційне моделювання роботи скловарної печі із синтезованими спостерігачами. Досліджено результати моделювання та зроблено висновки щодо доцільності використання даних спостерігачів при різних видах збурень. Показано, що найкраще працює модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту.

Ключові слова: спостерігач, фільтр Калмана, імітаційне моделювання, математична модель, скловарна піч.

Вступ. Основним технологічним процесом у виробництві скляної продукції є процес скловаріння. Ефективність даного процесу визначається його температурним режимом [1]. Температура скломаси є найважливішим технологічним параметром, що визначає процеси розплавлення, очищення, гомогенізації, повторного очищення та термічної однорідності скла. Це обумовлює потребу створення досконалої системи контролю та керування температурами скломаси та газового середовища у скловарній печі.

© А. І. ЖУЧЕНКО, В. С. ЦАПАР, 2015