УДК 69

© Д. И. Корольков, аспирант
© Ш. М. Мамедов, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: korol9520@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-5-49-56

© D. I. Korolkov, post-graduate student
© Sh. M. Mamedov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: korol9520@yandex.ru

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСКОЛЬКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ КАК ЕДИНОГО ОБЪЕКТА

ASSESSMENT OF THE RESIDUAL RESOURCE OF SEVERAL BUILDINGS AND STRUCTURES AS A UNIFIED OBJECT

Рассмотрена проблема оценки остаточного ресурса объекта, который состоит из нескольких зданий и сооружений. Представлены четыре различных подхода к решению данной проблемы, их достоинства и недостатки, области применения. В рамках данных подходов можно использовать метод прямого перебора, комбинаторный метод, алгебру логики, общий логико-вероятностный метод. Авторами разработаны два возможных варианта расчета остаточного ресурса данных объектов с использованием общего логико-вероятностного метода. Предложено разрабатывать методику расчета остаточного ресурса подобных объектов перед проведением обследования. Указаны основные пункты, которые обязательно должны быть прописаны в разработанной методике.

Ключевые слова: остаточный ресурс, здания и сооружения, алгебра логики, общий логико-вероятностный метод, системы типа « m из n ».

In this article, the authors raises the problem of assessing the residual resource of an object consisting of several buildings and structures. Four different approaches to solving this problem are presented. The advantages and disadvantages of them are considered, and the application areas of these approaches are indicated. Within the framework of these approaches, one can use the direct enumeration method, the combinatorial method, the algebra of logic, and the general logical-probabilistic method. The authors has developed two possible options for calculating the residual resource of these objects using the general logical-probabilistic method. It is proposed to develop a methodology for calculating the residual life of such objects before conducting a survey. The authors indicates the main points that must be included in the developed methodology.

Keywords: residual resource, buildings and structures, algebra of logic, general logical-probabilistic method, systems of the « m out of n » type.

В практике строительства возможны ситуации, когда необходимо рассчитать остаточный ресурс объекта в целом, состоящего из нескольких зданий и сооружений¹. На сегодняшний день отсутствует методика расчета остаточного ресурса подобных объектов.

Проблема расчета таких объектов намного сложнее, чем для одного здания, поскольку в этом случае отказ даже одного или же нескольких зданий может не привести к отказу всего объекта в целом.

¹ НП 024–2000. Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии.

По сути данная задача сводится к задаче расчета надежности системы типа « m из n ». Поскольку количество объектов (зданий и сооружений) теоретически может быть неограниченное и сами здания или сооружения могут представлять собой сложные системы со множеством элементов, которые могут быть еще и не равнозначны по степени надежности, то получение точного решения не представляется возможным. Тем не менее, возможно получить нижнюю и верхнюю границы вероятности безотказной работы всего объекта в целом, а также его наработку.

Чтобы решить данную проблему, необходимо привлечь аппарат логико-вероятностного моделирования. Применить его возможно несколькими способами.

Прежде чем мы приступим к рассмотрению каждого из этих способов, необходимо определить, каким образом строится схема функциональной целостности (СФЦ).

Схему необходимо строить по принципу «сверху вниз». Это удобно, поскольку получаемая СФЦ в процессе построения будет разбиваться на уровни (подуровни). Сначала в качестве фиктивной вершины принимается весь объект в целом. Затем в качестве вершин строятся как один элемент здания или сооружения в целом и соединяются с фиктивной вершиной (нашим объектом в целом) по связи «или». Затем строятся системы и элементы каждого здания, которые могут быть организованы в несколько уровней. Строить СФЦ следует именно в таком порядке, поскольку, спускаясь на более низкий уровень, можно исключить дальнейшее построение какой-либо ветки, потому что имеется много элементов, связанных по связи «или», и поэтому вклад каждого элемента в систему в целом будет ничтожно мал (рис. 1).

Какими же образом можно рассчитать остаточный ресурс подобных объектов? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо задаться критерием (условием) отбора систем и элементов. Задавая подобный критерий, важно, чтобы он позволял однозначно отбирать те элементы

и системы, которые непосредственно влияют на работоспособность подобного объекта в целом и отказ которых приведет к отказу объекта в целом.

Здесь есть одна особенность. Важно задавать только один критерий отбора систем и элементов. Возможно задавать и больше одного критерия, но в этом случае необходимо сформулировать критерии так, чтобы они не противоречили друг другу и не создавали ситуации, когда не все элементы, важные для безопасности объекта, будут учтены.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть заданы два условия (критерия) отбора элементов для расчета объекта (здания). Первый критерий: отказ объекта произойдет, если отказ элемента приведет объект в неработоспособное состояние, т. е. здание будет находиться в аварийном состоянии. Второй критерий: отказ элемента приводит к угрозе безопасности и здоровью людей. По условию задания оба критерия должны выполняться одновременно. Если хотя бы одно условие не выполняется, то элемент не может быть включен в расчет. Рассмотрим два элемента, важных для безопасности: закрытый радионуклидный источник и строительные конструкции. Начнем со строительных конструкций. Если произойдет отказ строительных конструкций, то объект перейдет в аварийное состояние (условие № 1 будет выполнено) и будет угроза безопасности и жизни людей (условие № 2 будет выполнено). Таким образом, данный элемент можно включить в расчет. Теперь рассмотрим закры-

Рис. 1. Схема структурной организации объекта

тый радионуклидный источник. В случае его отказа (разгерметизации) создается угроза жизни людей (условие № 2 будет выполнено). Однако сам объект в неработоспособное состояние не перейдет (условие № 1 не будет выполнено). Таким образом, элемент, важный для безопасности (закрытый радионуклидный источник), в расчет не включается, хотя его учет необходим для дальнейшей безопасной эксплуатации объекта.

После того как задан критерий отбора и проведен отбор элементов, выбирается конкретный подход для расчета остаточного ресурса.

Выбор конкретного подхода зависит от количества зданий или сооружений, входящих в состав объекта, а также от влияния каждого конкретного сооружения или здания на объект.

Первый подход используют тогда, когда одно здание или сооружение в случае отказа оказывает огромное влияние на весь объект в целом. Под понятием «влияние на объект» следует понимать наличие технологического оборудования, инженерных систем, радиоактивных источников (касается объектов использования атомной энергии), которые в случае отказа приводят к потере технологических мощностей на объекте в целом на 50 % и более или к угрозе радиоактивного загрязнения большей части местности объекта.

В этом случае можно рассчитать остаточный ресурс данного здания и принять его за остаточный ресурс всего объекта в целом.

Второй подход основан на двухэтапном расчете остаточного ресурса объекта в целом.

На *первом этапе* рассчитывается остаточный ресурс каждого здания или сооружения в отдельности.

На *втором этапе* рассчитывается остаточный ресурс объекта в целом. Здесь возможно применение нескольких методов.

Согласно широко принятым представлениям, «при сравнительно небольшом количестве элементов можно воспользоваться **методом прямого перебора**, суть которого заключается в определении работоспособности каждого из возможных состояний объекта в целом, которые определяются различными сочетаниями работоспособных и неработоспособных состояний элементов. Однако расчет даже простой системы представляет довольно сложную задачу, ведь приходится делать много технической работы по

поиску вариантов. И с возрастанием числа элементов сложность задачи возрастает многократно» [1–4].

Также расчет надежности системы « m из n » может производиться **комбинаторным методом**, в основе которого лежит формула биномиального распределения [1–4]. Биномиальному распределению подчиняется дискретная случайная величина k — число появлений некоторого события в серии из n опытов, если в отдельном опыте вероятность появления события составляет p . Вероятность появления события в этом случае определяется по формуле

$$P_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k}. \quad (1)$$

Поскольку для отказа системы « m из n » достаточно, чтобы количество исправных элементов было меньше m , вероятность отказа может быть найдена по теореме сложения вероятностей для $k = 0, 1, \dots, (m-1)$:

$$Q = \sum_{k=0}^{m-1} P_k = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k}. \quad (2)$$

Аналогичным образом можно найти вероятность безотказной работы как сумму для $k = m, m+1, \dots, n$:

$$P = \sum_{k=m}^n P_k = \sum_{k=m}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k}. \quad (3)$$

Третий подход основан на применении **логических схем с применением алгебры логики (булевой алгебры)**. Применение этого метода сводится к составлению для объекта формулы алгебры логики, которая определяет условие работоспособности системы. При этом для каждого элемента и системы в целом рассматриваются два противоположных события — отказ и сохранение работоспособности. Для составления логической схемы можно воспользоваться двумя методами: **методом минимальных путей** и **методом минимальных сечений** [2–4].

Отличительной особенностью данного подхода является использование монотонных логических функций булевой алгебры, которые предполагают нахождение системы только двух логических операций «И» и «ИЛИ». Они не позволяют рассчитывать или моделировать, например, множественные (больше двух) состояния работоспособности системы, ее отказа, аварии, или конкретные причины (факторы) поражения отдельных или групп элементов и т. п.

Четвертый подход заключается в применении **общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ)**. Как отмечают А. С. Можаяев, И. А. Рябинин и др., «данный метод позволяет решать задачи монотонных и немонотонных логических функций, поскольку использует полный базис логических операций „И“, „ИЛИ“ и „НЕ“» [5–14].

В данной работе автором будет рассматриваться только четвертый подход. Связано это будет с тем, что по условию нашего исследования, для того чтобы провести расчет остаточного ресурса всего объекта в целом, нам необходимо будет предварительно построить схему функциональной целостности каждого здания (сооружения) в отдельности с последующим их объединением в систему типа « m из n ».

Какие варианты возможны при использовании данного подхода?

Первый возможный вариант — это реализация двухэтапного расчета остаточного ресурса.

В этом случае последовательность расчета будет следующей:

1. Для каждого здания или сооружения строится своя СФЦ (рис. 2).

2. Проводится расчет остаточного ресурса каждого выбранного элемента по соответствующим методам расчета.

3. Полученные значения остаточного ресурса и вероятности безотказной работы вносят в программный комплекс, в котором реализован ОЛВМ, где построены СФЦ для каждого здания или сооружения. Проводится расчет остаточного ресурса и вероятности безотказной работы каждого здания или сооружения в целом.

4. Строится СФЦ объекта в целом в виде системы « m из n » (рис. 3).

5. Проводится расчет данной СФЦ на основании расчетных данных, полученных для каждого здания или сооружения по результатам расчета их СФЦ.

6. Проводится обработка и анализ полученных значений. Назначается окончательная величина остаточного ресурса объекта в целом, для каждого здания и каждого элемента в отдельности. Также устанавливаются ограничения и усло-

Рис. 2. Пример схемы функциональной целостности условного здания (сооружения)

Рис. 3. Пример схемы функциональной целостности условного объекта (полигона, квартала)

вия дальнейшей эксплуатации при необходимости:

Второй вариант — это построение полной схемы организации объекта в целом.

В этом случае последовательность расчета будет следующая.

1. Строится СФЦ объекта в целом в виде системы «*n* из *n*», где изображаются все элементы всех зданий и сооружений.

2. Проводится расчет остаточного ресурса каждого выбранного элемента по соответствующим методам расчета.

3. Полученные значения остаточного ресурса и вероятности безотказной работы вносят в программный комплекс, в котором реализован ОЛВМ, где построена СФЦ объекта в целом.

4. Проводится расчет данной СФЦ на основании расчетных данных, полученных для каждого здания или сооружения по результатам расчета их СФЦ.

5. Проводится обработка и анализ полученных значений. Назначается окончательная величина остаточного ресурса объекта в целом, для каждого здания и каждого элемента в отдельности. Также устанавливаются ограничения и условия дальнейшей эксплуатации при необходимости.

Какой вариант когда применять? Все зависит от поставленных задач и количества элементов построенной СФЦ. Если стоит задача оценить влияние на объект в целом конкретного здания или сооружения без указания на то, какой именно элемент этого здания или сооружения вносит наибольший вклад в вероятность отказа всего объекта в целом, то в этом случае необходимо

применить первый вариант. Если же стоит задача детально рассмотреть влияние каждого элемента на объект в целом, то в этом случае необходимо пользоваться вторым вариантом.

Как видно, особой разницы между представленными вариантами нет. Вопрос их применения скорее в удобстве графического представления СФЦ. Во втором варианте схема может оказаться очень громоздкой и не всегда удобной в использовании. Первая же позволяет разбивать объект в целом на отдельные части, что упрощает восприятие. Однако она усложняет понимание того, как отдельный элемент влияет на весь объект в целом, в отличие от второго варианта.

В современных программных средствах имеется соответствующий инструмент (такой инструмент называется эквивалентированной вершиной) для упрощения графического представления СФЦ (сокращения размерности) и при этом сохранения возможности построения СФЦ для объекта в целом с последующей оценкой влияния отдельных элементов на объект в целом.

Графически структура СФЦ будет похожа на ту, что представлена на рис. 3, но будет отличаться видом элементов (рис. 4).

Для того чтобы лучше понимать, как рассчитывать конкретный объект, необходимо разработать методику расчета остаточного ресурса для конкретного объекта. Первоначально методика разрабатывается до проведения комплексного обследования и впоследствии может быть скорректирована при необходимости после проведения комплексного обследования. В этой методике необходимо:

Рис. 4. Пример схемы функциональной целостности условного объекта (полигона, квартала), построенного с использованием эквивалентированной вершины

1. Дать описание данного объекта в целом, описание всех систем и элементов, входящих в данный объект.

2. Установить критерий отбора систем и элементов для СФЦ.

3. Определиться с тем, по какому варианту будет осуществляться расчет остаточного ресурса объекта в целом.

4. Построить СФЦ. Если расчет будет вестись по первому варианту, то строится общая СФЦ для всего объекта, а также СФЦ для каждого здания (сооружения) в отдельности. Если по второму варианту, то одна СФЦ для всего объекта в целом. Если построенная СФЦ содержит в себе много элементов, допускается отдельными рисунками показывать СФЦ здания (сооружения), а также при необходимости отдельной системы. При этом должны быть показаны эквивалентированные вершины. Если таких вершин несколько на какой-либо СФЦ, то необходимо каждый последующий рисунок подсистемы подписывать, включая номер эквивалентированной вершины.

5. Написать, какой методологический подход используется при расчете остаточного ресурса.

6. Написать, какие методы расчета остаточного ресурса применяются для каждого элемента или группы элементов.

7. Если для элемента или группы элементов расчет остаточного ресурса ведется по нескольким методам, то показать, каким образом будут проводиться анализ и оценка полученных значений, а также написать, каким образом будет назначаться окончательная величина остаточного ресурса элемента или группы элементов.

8. Дать краткое описание ОЛВМ, применяемого для расчета остаточного ресурса данного объекта.

9. Написать, каким образом будет назначаться остаточный ресурс объекта в целом, систем и элементов в отдельности.

10. Установить ограничения при необходимости.

В заключение хочется отметить, что в настоящее время накоплено крайне мало опыта по расчету таких объектов, в состав которых входит множество зданий и сооружений и которые являются неким объединением, связанным технологическими, нормативно-правовыми, историческими или иными связями.

Поэтому разработка единой методологии расчета таких объектов, ее проработка и накопление опыта расчета таких объектов будут являться очень важной задачей в ближайшем будущем.

Библиографический список

1. Письменный Д. Т. Письменный конспект лекций по теории вероятностей и математической статистике. М.: Айрис Пресс, 2004. 256 с.
2. Булгаков О. М., Никитина Ю. С. Особенности моделирования отказа оконечного каскада мощного транзисторного радиопередатчика с помощью графа состояний // Вестник Воронежского института МВД России. 2009. № 2. С. 74–79.
3. Технологическое обеспечение надежности: методические указания к выполнению контрольной работы для студентов специальности 120100 заочной формы обучения / сост. Г. М. Садчикова, И. М. Ивлишина. Балаково, 2009. 31 с.

4. Шаров В. Г., Чайка С. В. Оценка надёжности системы передачи данных на основе интеллектуальных многоканальных оптоволоконных соединений // Вестник РГТУ им. П. А. Соловьёва. 2012. № 2 (23). С. 169–175.

5. Поленин В. И., Рябинин И. А., Свиринов С. К., Гладкова И. А. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства. СПб.: Санкт-Петербургское региональное отделение РАЕН, 2011. 416 с.

6. Рябинин И. А., Струков А. В. Решение одной задачи оценки надёжности структурно-сложной системы разными логико-вероятностными методами // сб. тр. 15-й Междунар. науч. конф. «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» (МАБР-2019). 2019. С. 1–14.

7. Нозик А. А., Струков А. В., Можяева И. А. Программная реализация методов количественного анализа риска аварий опасных производственных объектов на основе логико-вероятностного и логико-детерминированного подходов // Наука и безопасность. 2016. № 2 (20). С. 25–35.

8. Можяева И. А., Нозик А. А., Струков А. В. Алгоритмы автоматизированного структурно-логического моделирования надёжности и безопасности структурно-сложных систем // Труды Междунар. научной школы МАБР-2016. Санкт-Петербург, 25–28 октября 2016 г. СПб., 2017. С. 1–6.

9. Мусаев А. А., Нозик А. А., Русинов Л. А. Прогностический анализ безопасности промышленного предприятия // Известия Санкт-Петербургского гос. технологического ин-та. 2016. № 34 (60). С. 87–93.

10. Рябинин И. А. Вероятностная логика и логика вероятностей // Труды Междунар. научной школы МАБР-2015. Санкт-Петербург, 17–19 ноября 2015 г. СПб., 2016. С. 13–18.

11. Нозик А. А., Можяев А. С., Струков А. В., Гладкова И. А. Применение программного комплекса «АРБИТР» в задачах проектной оценки надёжности структурно-сложных систем // Сб. докл. междунар. науч. семинара им. Ю. Н. Руденко «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики» (Санкт-Петербург, 30 июня – 4 июля 2014 г.). Иркутск, 2015. Вып. 65. С. 1–10.

12. Рябинин И. А., Струков А. В. Автоматизированное моделирование надёжности структурно-сложных систем из элементов с тремя несовместными состояниями // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 3 (34). С. 89–111.

13. Струков А. В. Логико-вероятностное моделирование надёжности систем из элементов с тремя состояниями с использованием программного комплекса «АРБИТР» // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11, № 3. С. 78–85.

14. Гладкова И. А., Струков А. А., Струков А. В. Сценарное логико-вероятностное моделирование опасной ситуации с использованием ПК АРБИТР // Сб. докл. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС 2013). Санкт-Петербург, 3–4 июля 2013 г. СПб.: Центр технологии судостроения и судоремонта, 2013. С. 50–54.

References

1. Pis'mennyj D. T. *Pis'mennyj konspekt lektsiy po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike* [Compendium of lectures on probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Ayriss Press Publ., 2004, 256 p.

2. Bulgakov O. M., Nikitina Yu. S. *Osobennosti modelirovaniya otkaza okonechnogo kaskada moshchnogo tranzistornogo radiopredatchika s pomoshch'yu grafa sostoyaniy* [Features of modeling the failure of the terminal cascade of the high-power transistor radio transmitter using a state graph]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii – Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2009, no. 2, pp. 74–79.

3. *Tekhnologicheskoe obespechenie nadezhnosti: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu kontrol'noy raboty dlya studentov spetsial'nosti 120100 zaочноy formy obucheniya* [Technological provision of reliability: methodological guidelines for the performance of control work for students of the 120100 specialty of correspondence education]. Comp. by Sadchikov G. M., Ivlyushin I. M. Balakovo Publ., 2009, 31 p.

4. Sharov V. G., Chayka S. V. *Otsenka nadyozhnosti sistemy peredachi dannykh na osnove intellektual'nykh mnogokanal'nykh optovolokonnykh soedineniy* [Evaluation of the reliability of a data transmission system based on intelligent multichannel fiber optic connections]. *Vestnik RGTU im. P. A. Solov'eva – Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov*, 2012, no. 2 (23), pp. 169–175.

5. Polenin V. I., Ryabinin I. A., Svirin S. K., Gladkova I. A. *Primenenie obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda dlya analiza tekhnicheskikh, voennykh organizatsionno-funktsional'nykh sistem i vooruzhennogo protivoborstva* [Application of the general logical-probabilistic method for the analysis of technical, military organizational and functional systems and armed confrontation]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskoe regional'noe otdelenie RAEN Publ., 2011, 416 p.

6. Ryabinin I. A., Strukov A. V. *Reshenie odnoy zadachi otsenki nadezhnosti strukturno-slozhnoy sistemy raznymi logiko-veroyatnostnymi metodami* [Solving one problem of assessing the reliability of a structurally complex system by various logical-probabilistic methods]. *Sb. tr. 15-y Mezhdunar. nauch. konf. «Modelirovanie i analiz*

bezopasnosti i riska v slozhnykh sistemakh» (MABR-2019) [Proceedings of the 15-th International scientific conference “Modeling and analysis of safety and risk in complex systems” (IABR-2019)]. St. Petersburg, 2019, pp. 1–14.

7. Nozik A. A., Strukov A. V., Mozhaeva I. A. *Programmnaya realizatsiya metodov kolichestvennogo analiza riska avariyn opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov na osnove logiko-veroyatnostnogo i logiko-determinirovannogo podkhodov* [Software implementation of methods for quantitative analysis of the risk of accidents of hazardous production facilities based on logical-probabilistic and logical-deterministic approaches]. *Nauka i bezopasnost' – Science and Security*, 2016, no. 2 (20), pp. 25–35.

8. Mozhaeva I. A., Nozik A. A., Strukov A. V. *Algoritmy avtomatizirovannogo strukturno-logicheskogo modelirovaniya nadezhnosti i bezopasnosti strukturno-slozhnykh sistem* [Algorithms of automated structural and logical modeling of reliability and safety of structurally complex systems]. *Trudy Mezhdunar. nauchnoy shkoly MABR-2016* [Proceedings of the International IABR Scientific School-2016]. St. Petersburg, October 25–28, 2016, pp. 1–6.

9. Musaev A. A., Nozik A. A., Rusinov L. A. *Prognosticheskiy analiz bezopasnosti promyshlennogo predpriyatiya* [Prognostic analysis of industrial enterprise safety]. *Izvestiya Sankt-peterburgskogo gos. tekhnologicheskogo in-ta – Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute*, 2016, no. 34 (60), pp. 87–93.

10. Ryabinin I. A. *Veroyatnostnaya logika i logika veroyatnostey* [Probabilistic logic and logic of probabilities]. *Trudy Mezhdunar. nauchnoy shkoly MABR-2015* [Proceedings of the International Scientific School of the IABR-2015]. St. Petersburg, November 17–19, 2015, pp. 13–18.

11. Nozik A. A., Mozhaev A. S., Strukov A. V., Gladkova I. A. *Primenenie programmnogo kompleksa «ARBTR» v zadachakh proektnoy otsenki nadezhnosti strukturno-slozhnykh sistem* [Application of the Arbiter

Software package in the tasks of design evaluation of reliability of structurally complex systems]. *Sb. dokl. mezhdunar. nauch. seminar im. Yu. N. Rudenko «Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki» (Sankt-Peterburg, 30 iyunya – 4 iyulya 2014 g.)* [Proceedings of the Proceedings of the International scientific. Rudenko Seminar “Methodological issues of reliability research of large energy systems” (St. Petersburg, June 30 – July 4, 2014)]. Irkutsk, 2015, iss. 65, pp. 1–10.

12. Ryabinin I. A., Strukov A. V. *Avtomatizirovannoe modelirovanie nadezhnosti strukturno-slozhnykh sistem iz elementov s tremya nesovmestnymi sostoyaniyami* [Automated modeling of reliability of structurally complex systems of elements with three incompatible states]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2014, vol. 3 (34), pp. 89–111.

13. Strukov A. V. *Logiko-veroyatnostnoe modelirovanie nadezhnosti sistem iz elementov s tremya sostoyaniyami s ispol'zovaniem programmnogo kompleksa «ARBTR»* [Logical-probabilistic modeling of reliability of systems from elements with three states using the Arbiter Software package]. *Problemy analiza riska – Problems of Risk Analysis*, 2014, vol. 11, no. 3, pp. 78–85.

14. Gladkova I. A., Strukov A. A., Strukov A. V. *Stsenarnoe logiko-veroyatnostnoe modelirovanie opasnoy situatsii s ispol'zovaniem PK ARBTR* [Scenario logic-probabilistic modeling of a dangerous situation using Arbiter PC]. *Sb. dokl. 2-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Imitatsionnoe i kompleksnoe modelirovanie morskoy tekhniki i morskikh transportnykh sistem» (IKM MTMTS 2013)* [Proceedings of the 2-nd International scientific and practical conference “Simulation and complex modeling of marine equipment and marine transport systems” (ICM MTMTS, July 3–4, 2013)]. St. Petersburg, 2013, Center for Shipbuilding and Ship Repair Technology Publ., 2013, pp. 50–54.