

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОБЛАКОВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ  
ГОМОГЕННОСТИ**

*Полторак В.П., к.т.н доцент; Троцкий С.А.  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

**METHOD FOR ENHANCING THE RELIABILITY OF INFORMATION  
TELECOMMUNICATION CLOUDS THROUGH THE INTRODUCTION OF  
HOMOGENEITY**

*Poltorak V.P., PhD, associate professor, Trotskyi S.A.  
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

**Введение. Постановка задачи**

В начале 21 столетия в стране появился новый вид информационно-телекоммуникационных систем (ИТС), так называемые «информационные облака». Облачные вычисления — это модель обеспечения повсеместного и удобного сетевого доступа по требованию к общему множеству конфигурируемых вычислительных ресурсов, которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами и/или обращениями к провайдеру [1]. При этом любое информационное облако состоит из управляющих и управляемых узлов. Программные вычислительные ресурсы – множество программных процессов, которые производят вычисления. Информационно-телекоммуникационная система – сложный комплекс оборудования и программного обеспечения, который должен соответствовать ряду критериев: масштабируемости, производительности, надёжности, малой технологической сложности создания. Надёжность является одной из основных характеристик программного обеспечения. Вычисление надёжности ИТС в целом требует большого количества вычислительных ресурсов и сложных аналитических расчетов. Метод приоритетных путей [2, 3] позволяет уменьшить количество расчетов и создать методики расчета не только показателей надёжности информационных облаков, но и их живучести и устойчивости. Но данный метод не является оптимальным. Методология, построенная на базе метода приоритетных путей [4] сводит задачи оценки надёжности информационного облака к решению задачи оценки надёжности параллельно-последовательной схемы. Существующие методы повышения надёжности телекоммуникационных систем в целом [5-6] основываются на резервировании элементов, но при этом не решается основной проблемы ненадежно-

сти информационных облаков – существования узлов, выход из строя которых, приводит к отказу всей системы. Это особенно актуально для программных вычислительных ресурсов, так как выход из строя такого узла приведет к дестабилизации работы всей системы в целом. В программных информационных облаках, такими узлами являются процессы, которые управляют работой остальных процессов. Данные процессы являются управляющими узлами.

*Постановка задачи:* разработать подход к проектированию информационных облаков, при котором, в существовании вышеупомянутых узлов не будет необходимости. Также необходимо разработать метод расчета надежности информационного облака с минимальными вычислительными затратами и простыми аналитическими расчетами.

### **Теоретическое обоснование**

В ИТС различают 5 видов резервирования: структурное, временное, функциональное, информационное и алгоритмическое.

**1. Структурное резервирование** - резервирование с применением резервных элементов структуры объекта. При структурном резервировании элементов (или цепей) системы показатели надежности повышаются дискретно (скачками).

**2. Функциональное резервирование** - способ повышения надежности, использующий свойство технических систем обеспечивать при отказах элементов безотказное функционирование за счет перераспределения функций и более интенсивной работы элементов, выполнявших до отказа только свои основные функции. *Выполнять дополнительные функции они способны лишь временно, и это может сопровождаться некоторым ухудшением общего качества работы, но в допустимых пределах.*

**3. Временное резервирование** - способ повышения надежности, при котором системе в процессе функционирования предоставляется возможность израсходовать некоторое время, называемое резервным, для восстановления технических характеристик. Резервы времени могут быть использованы для переключения структурного резерва, устранения отказов, технического обслуживания и пр. Резерв времени может быть обеспечен различными способами:

- а) увеличением оперативного времени;
- б) созданием запаса производительности;
- в) приданием системе свойства функциональной инерционности.

**4. Информационное резервирование** - резервирование с применением информационной избыточности, используемой для улучшения характеристик системы. Реализуется введением избыточных кодов и символов при передаче, обработке и отображении информации (например, дополнительные единицы информации, позволяющие обнаруживать и устранять ошибки в передаче информации: корректирующие коды, контрольные суммы,

проверки на четность и др.). Вводится избыточность массивов данных в составе файла данных, а также избыточность файловой структуры в памяти.

**5. Алгоритмическое резервирование** - базируется на параллельной обработке информации алгоритмом минимальной сложности. Оно используется во взаимодействии с другими видами резервирования и в ряде случаев является необходимым условием их реализации (корректирующие коды).

**Узел в гомогенном информационном облаке** представляет собой программный процесс операционной системы, который выполняется в кластере. Главной функцией любого узла – обработка данных.

**Резервирование при гомогенном подходе** – представляет собой комбинацию структурного, функционального, временного, информационного, а также алгоритмического резервирования.

Основной идеей при гомогенном подходе является то, что узлы, которые не заняты обработкой данных в конкретный момент времени, могут *управлять множеством других узлов (управляемых узлов)*. За счет этого отпадает необходимость в существовании отдельных *управляющих узлов* и как следствие не существует узлов, выход из строя которых, приводит к отказу всей системы.

В гомогенной системе все элементы являются одновременно функционально необходимыми и резервными. В случае отказа одних элементов их функции передаются остальным. Информационное резервирование предполагает, что каждый узел хранит некий объем данных, но при этом он делает копии этих данных на других узлах. При этом все данные равномерно распределены и обрабатываются параллельно. Узлы, которые не заняты в данный момент времени обработкой могут израсходовать некоторое время, для восстановления технических характеристик системы (для запуска недостающих узлов).

**Кластер** – набор серверов, которые соединены посредством телекоммуникационного оборудования.

Множество состояний любого узла в информационном облаке представляет собой детерминированный конечный автомат, который представлен на рис 1.

*Активное состояние* – состояние, при котором узел, в текущий момент времени занят обработкой данных.

*Пассивное состояние* – состояние, при котором узел, который в текущий момент времени не занят обработкой данных, также не является *управляющим узлом*. Он ждет поступающих запросов от *Управляющего узла* или запроса от *Клиента*. Запрос от клиента вызовет переход в *Управляющее состояние* только тогда, когда его текущее состояние - *Пассивное состояние*.

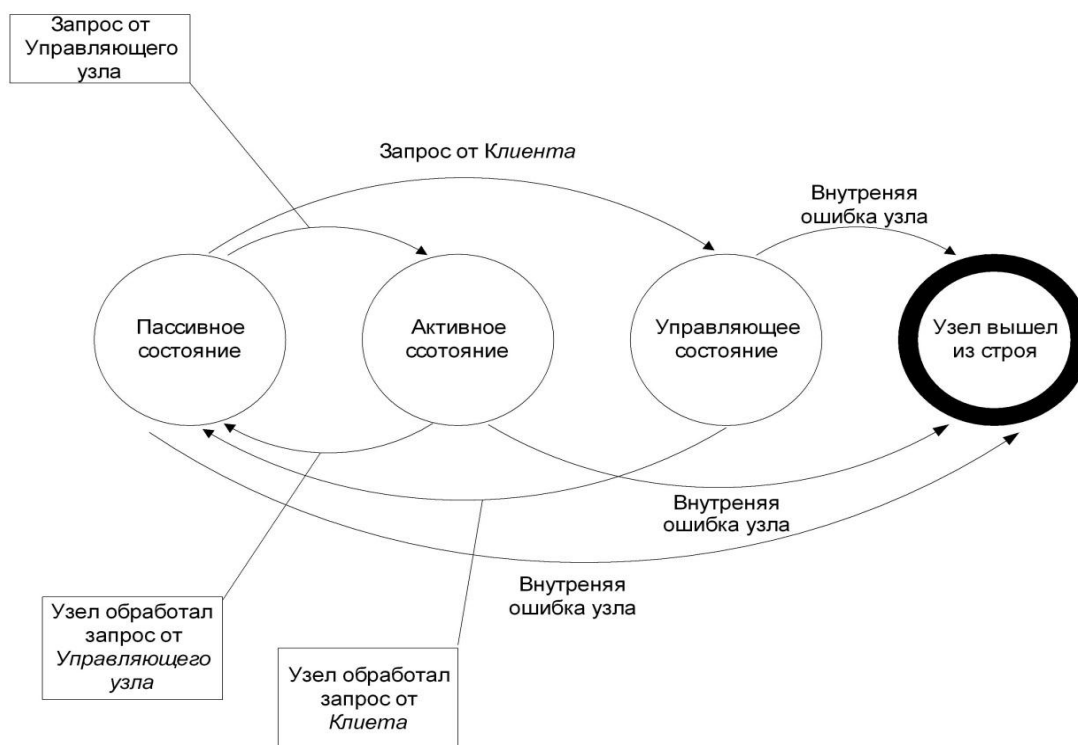


Рис. 1 Детерминированный конечный автомат узлов информационного облака

*Клиент* – внешний по отношению к системе агент или программный компонент.

*Управляющее состояние* - состояние, при котором узел в текущий момент времени занят координацией *Активных узлов* и *Пассивных узлов*.

Множество узлов информационного облака представляют собой объекты с параллельно нагруженными соединениями.

Работоспособность облака сохраняется до тех пор, пока, хотя бы, один узел из  $n$  входящих в облако, работоспособен.

Для параллельно - нагруженного соединения вероятность отказа равна

$$p_c(t) = \prod_{j=1}^n p_j(t)$$

$p_j(t)$  – функция ненадежности  $j$ -го элемента

Учитывая что  $p_c(t) = 1 - q_c(t)$ , где  $q_c(t)$  – функция надежности, то:

$$p_c(t) = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - q_j(t))$$

Применим метод дифференциальных уравнений для оценки надежности восстанавливаемых узлов, так как время между отказами и время между восстановлением имеют показательные распределения. При этом параметр потока отказов  $w = \lambda = 1/t_{cp}$  и интенсивность восстановления  $\mu = 1/t_g$ , где  $t_{cp}$  – среднее время безотказной работы,  $t_g$  – среднее время восстановления.

Поскольку все узлы имеют одинаковую надежность граф состояний для  $n$  узлов [7] показан на рис. 2.

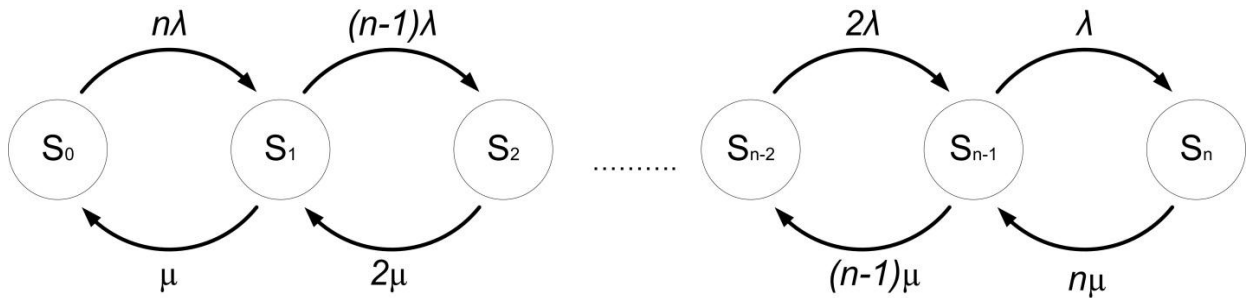


Рис. 2 Граф состояний для  $n$  узлов

Рекурсивная формула вычисления вероятности состояния  $S_{i+1}$  через вероятность состояния  $S_i$  информационного облака имеет вид:

$$\frac{dP_{i+1}}{dt} = (n-i)\lambda P_i - \mu(i+1)P_{i+1}$$

где  $i = \overline{0, n-1}$

Предельным состоянием работоспособности гомогенной системы является состояние  $S_{n-1}$  [8]. Поделим все множество состояний на 2 подмножества: в первое будет входить все работоспособные состояния  $\{S_0, \dots, S_{n-1}\}$ , а во второе неработоспособное состояние  $\{S_n\}$ . Количество состояний информационного облака зависит только от количества узлов, находящихся в кластере. Вероятность начального состояния  $p_0$  вычисляется по формуле [9]:

$$p_0 = \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_1 \mu_2} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{\mu_1 \mu_2 \mu_3} + \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4}{\mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4} + \dots + \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \dots \lambda_n}{\mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \dots \mu_n} \right)^{-1}$$

Учитывая специфику проектируемой системы вышеуказанную формулу, возможно преобразовать в следующий вид:

$$p_0 = \left( 1 + \left[ \frac{\lambda}{\mu} + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^2 + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^3 + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^4 + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^5 + \dots + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] \right)^{-1}$$

Выражение в круглых скобках представляет собой сумму геометрической прогрессии и вычисляется по формуле:

$$S = \frac{1 - \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n}{1 - \frac{\lambda}{\mu}}$$

Таким образом, выражение для вероятности первого состояния можно записать в виде:

$$p_0 = \left( \frac{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{1 - \frac{\lambda}{\mu}} \right)^{-1}$$

В любой момент времени любой узел может заменить любой другой узел и система останется работоспособной. Поскольку система обладает эргодическим свойством, запишем формулу для стационарного состояния:

$$\frac{dP_i}{dt} = 0$$

$$(n-i)\lambda P_i - \mu(i+1)P_{i+1} = 0$$

$$(n-i)\lambda P_i = \mu(i+1)P_{i+1}$$

$$P_{i+1} = \frac{(n-i)\lambda}{(i+1)\mu} P_i$$

$$P_i = \frac{(n-i+1)\lambda}{i\mu} P_i$$

Таким образом, конечная система уравнений представляет собой систему, где одно из уравнений – рекурсивная формула:

$$P_i = \begin{cases} \frac{(n-i+1)\lambda}{i\mu} P_{i-1}, & \text{для } i \neq 1 \\ \frac{n\lambda}{\mu} \left( \frac{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{1 - \frac{\lambda}{\mu}} \right)^{-1}, & \text{для } i = 1 \end{cases}$$

### Результаты экспериментальных исследований

Разработанная по данной методике система имела узлы, интенсивность отказов которых была равна  $\lambda = 0.00000067$  (был проведен ряд опытов, значения были усреднены) и  $\mu = 0.008233$  (для инициализации нового программного узла необходимо 120 секунд).  $\mu = \frac{1}{120}$

Была промоделирована зависимость вероятности выхода из строя информационного облака от количества узлов. Результаты представлены в таблице 1.

Таблиця 1

Количество узлов, <i>n</i>	Вероятность выхода из строя гомогенной системы <i>P</i>	Представление в логарифмическом масштабе ( $-\log_{10}(P)$ )
1	0,000813798129478926	7.1138
2	6,62267395543399E-07	14.2276
5	3,56930315977032E-16	35.5690
10	1,27399250463464E-31	71.1380
15	4,54726547231614E-47	106.7070
20	1,62305690186525E-62	142.2760
30	2,06776232757185E-93	213.4139
60	4,27564104332537E-186	426.8279
80	6,93960870526758E-248	569.1039
100	1,12633798053287E-309	711.3798

Легкость прогнозирования надежности системы при таком подходе заключается в том, что управляя лишь одним параметром в системе (количеством узлов информационного облака), мы управляем надёжностью. Зависимость между надёжностью и количеством узлов – линейная в логарифмическом масштабе. Результаты взаимодействия с информационным облаком подтвердили высокую надежность системы и расчеты.

Расходы на добавление дополнительных узлов заключаются лишь в покупке дополнительного количества персональных компьютеров или серверов.

Системы, построенные на принципах описанных выше, могут применяться в банковской сфере для вычисления рисков, у провайдеров больших вычислительных систем, которые сдают в аренду вычислительные мощности, а также у любых организаций, у которых надежность данных и расчетов, является приоритетной. Такие системы также могут быть спроектированы и внедрены в научно – исследовательских центрах, в организациях которые занимаются прогнозом погоды. Положительные стороны для провайдеров – высокая надежность и простота предоставления клиенту именно тех показателей надежности, за которые платит клиент.

### **Заключение**

1) Был разработан метод проектирования информационного облака, который позволяет исключить из системы узлы, выход из строя которых, приводит к отказу всей системы. Поскольку узлы в информационном облаке были разработаны как программные процессы, стало возможным реализовать двойственность каждого узла, наделив его возможностью выполнять расчеты (основная функция узлов), а также управлять остальными узлами. Показатель надежность системы является функцией от количества узлов и растет по экспоненциальному закону. Соответственно наращивая количества узлов в системе, мы одновременно повышаем надежность.

2) Была выведена система уравнений, позволяющая с минимальными вычислительными затратами просчитать надежность информационного облака, обладающего свойством гомогенности. Система уравнений представляет собой рекурсивное уравнение и условие выхода из рекурсии, а объем вычислений линейно пропорционален количеству узлов.

#### **Литература**

1. National Institute of Standard and technology, Special Publication 800-145 2011, p. 2
2. Алехин Е. И. Методики расчета надежности физических сред коммуникационных информационных сетей с уменьшенной вычислительной сложностью Монография / Е. И. Алехин., В. Е. Фисенко — Депон. в ВИНТИ 14.12.99, инв. № 3688-В99. — 81с.
3. Фисенко В. Е. Оценка живучести информационных направлений на основе экономного алгоритма / В. Е. Фисенко, В. И. Ветров // Материалы 10 Международной конференция "Информатизация правоохранительных систем". — М. : Академия управления МВД России, 2001. — 449 с.
4. Фисенко В. Е. Развитие методологии оценки структурной надежности информационных телекоммуникационных систем / Фисенко В. Е. // Материалы 12 НТК "Системы безопасности" — СБ-2003. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2003.
5. Богатырев В. А. Отказоустойчивые многомашинные вычислительные системы динамического распределения запросов при дублировании функциональных ресурсов / Богатырев В. А. // Изв. вузов. Приборостроение. — 1996. — № 4.
6. Дилон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Дилон, И. Сингх — М. : Мир, 1984.
7. Шишмарев В. Ю. Надежность технических систем. — Москва. Издательский центр «Академия», 2010. — С. 149 — 152
8. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. — Санкт-Петербург. ИТМО 2009. — С. 182 — 189
9. Вентцель Е. С. Исследования операций: задачи, принципы, методология. — Москва, 2006. — С. 137 — 138

#### **References**

1. National Institute of Standard and technology, Special Publication 800-145 2011, p. 2
2. Alehin E. I., Fisenko V. E. Metodiki rascheta nadezhnosti fizicheskikh sred kommunikacionnyh informacionnyh setej s umen'shennoj vychislitel'noj slozhnost'ju. Monografija. Depon. v VINITI 14.12.99, inv. № 3688-V99, 81p.
3. Fisenko V. E., Vetrov V. I. Ocenka zhivuchesti informacionnyh napravlenij na osnove jekonomnogo algoritma. Materialy 10 Mezhdunarodnoj konferencija "Informatizacija pravoohranitel'nyh sistem". Moscow, Akademija upravlenija MVD Rossii, 2001, 449 p.
4. Fisenko V. E. Razvitie metodologii ocenki strukturnoj nadezhnosti informacionnyh telekommunikacionnyh sistem. Materialy 12 NTK "Sistemy bezopasnosti" – SB-2003. – Moscow, Akademija GPS MChS Rossii, 2003.
5. Bogatyrev V. A. Otkazoustojchivye mnogomashinnye vychislitel'nye sistemy dinamicheskogo raspredelenija zaprosov pri dublirovanii funkcional'nyh resursov. Izv. vuzov. Priborostroenie. 1996, no. 4.
6. Dilon B., Singh I. Inzhenernye metody obespechenija nadezhnosti sistem. Moscow, Mir, 1984.
7. Shishmarev V. Ju. Nadezhnost' tehniceskikh sistem. Moskva. Izdatel'skij centr «Akademija», 2010, pp.149-152.



8. Aliev T. I. Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem. Sankt-Peterburg. ITMO, 2009, pp. 182-189.

9. Ventcel E. S. Isledovaniya operacij: zadachi, principy, metodologiya. Moskva, 2006, pp. 137-138.

*Полторак В. П., Троцький С. А. Метод підвищення надійності інформаційних телекомунікаційних хмар шляхом впровадження гомогенності* У статті розглянуто підхід до проектування інформаційної хмари шляхом впровадження гомогенності в функціональні вузли. Розглянуто метод, що дозволяє виключити з системи керуючі вузли, вихід з ладу яких, призводить до відмови всієї системи. Розглянуто питання застосування та впровадження систем, побудованих на базі гомогенного резервування. Був приведений кінцевий детермінований автомат, який описує переходи між станами вузла інформаційної хмари. Дано математичне підтвердження надійності даного методу проектування інформаційних хмар. Була виведена рекурсивна формула і умова виходу з рекурсії, що дозволяє ефективно обчислити надійність системи в залежності від кількості вузлів системи. Було доведено, що надійність системи зростає при збільшенні кількості вузлів за експоненціальним законом.

**Ключові слова:** інформаційне хмара, керуючі вузли, гомогенне резервування

*Полторак В. П., Троцький С. А. Метод повышения надежности информационных телекоммуникационных облаков путем внедрения гомогенности* В статье рассмотренный подход к проектированию информационного облака путем внедрения гомогенности в функциональные узлы. Рассмотрен метод, позволяющий исключить из системы управляющие узлы, выход из строя которых, приводит к отказу всей системы. Рассмотрен вопрос применения и внедрения систем, построенных на базе гомогенного резервирования. Был приведен конечный детерминированный автомат, который описывает переходы между состояниями узла информационного облака. Дано математическое подтверждение надежности данного метода проектирования информационных облаков. Была выведена рекурсивная формула и условие выхода из рекурсии, позволяющая эффективно вычислить надежность системы в зависимости от количества узлов системы. Было доказано, что надежность системы растет при увеличении количества узлов по экспоненциальному закону.

**Ключевые слова:** информационное облако, управляющие узлы, гомогенное резервирование

*Poltorak V. P. Trotskyi S. A. Method for enhancing the reliability of information telecommunication clouds through the introduction of homogeneity.* The approach to the information cloud design through the introduction of homogeneity is presented in the article. The method that is excluding single points of failure is considered in the article. The usage examples and integration of the systems that were developed on the basis of homogeneous redundancy are introduced as well. It was given deterministic finite automaton, which describes the state transitions of the nodes in the cloud. Article also describes the mathematical proof of the method's reliability. Recursive formula and the exit condition of the recursion were derived, which allow efficient computing of the reliability of the system that depends on the number of nodes. It has been proved that the reliability of the system increases with the number of nodes exponentially.

**Keywords:** information cloud, managed nodes, homogeneous reservation