КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 519.6
DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-689-699

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ БЕЛЛМАНА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

APPLICATION OF THE METHOD BELLMAN DYNAMIC PROGRAMMING FOR THE IMPLEMENTATION OF HIGH-RELIABLE PROCESSING SYSTEMS ELECTRONIC MEDICAL DATA

М.В. Королев[1], Л.Ю. Королева[2], А.И. Мотиенко[3]
M.V. Korolev[1], L.Yu. Koroleva[2], A.I. Motienko[3]

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», Россия, 302034, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35
[2)] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95
[3)] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39,

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia
[2)] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Orel State University. I.S. Turgenev ", 95 Komsomolskaya St, Orel, 302026, Russia
[3)] St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia

E-mail: korol80@list.ru, mivi2009@rambler.ru, anna.gunchenko@gmail.com

Аннотация
Целью работы является анализ возможностей применения метода динамического программирования Беллмана при создании высоконадежных (отказоустойчивых) систем, предназначенных для обработки электронных медицинских данных различного назначения. В работе показано, что выполнение заданных требований по надежности подобных систем может быть обеспечено за счет обеспечения избыточности (организации резервирования) компонентов системы - как аппаратных, так и программных. Авторами обоснованы конкретные научные и технические предложения по оптимизации и расчету количества резервируемых компонентов системы (в частности, по требуемой кратности резервирования баз данных, лежащих в основе систем обработки электронных медицинских данных), позволяющих обеспечить выполнение установленных требований по надежности подобных систем при одновременном снижении расходов на их реализацию, а также соответствующие примеры расчетов. В работе использован математический аппарат теории вероятностей и теории надежности, а также линейного программирования - в частности, метод динамического программирования Беллмана. Кроме того, в работе представлены научно-технические предложения по применению достаточно широко используемого в теории надежности понятия «абсолютно надежных» систем при организации

высоконадежных систем обработки электронных медицинских данных. Реализованные при помощи указанного подхода системы позволят обеспечить выполнение заданных требований к их надежности, при этом для их оценки на практике могут использоваться более простые (качественные) критерии надежности.

Abstract
The aim of the work is to analyze the possibilities of applying the Bellman dynamic programming method to create highly reliable (fault-tolerant) systems designed for processing electronic medical data for various purposes. It is shown in the work that the fulfillment of the specified requirements for the reliability of such systems can be ensured by ensuring the redundancy (organization of redundancy) of the system components - both hardware and software. The authors substantiated specific scientific and technical proposals for optimizing and calculating the number of redundant system components (in particular, for the required multiplicity of backup databases that underlie electronic medical data processing systems), allowing to fulfill the established requirements for the reliability of such systems while reducing costs their implementation, as well as relevant examples of calculations. The mathematical apparatus of probability theory and reliability theory, as well as linear programming, in particular, the Bellman dynamic programming method, is used in this work. In addition, the paper presents scientific and technical proposals for the use of the concept of “absolutely reliable” systems that are widely used in reliability theory in organizing highly reliable electronic medical data processing systems. Systems implemented using this approach will ensure that the specified requirements for their reliability are met, while simpler (qualitative) reliability criteria can be used to evaluate them in practice.

Ключевые слова: системы обработки электронных медицинских данных, базы данных, резервирование аппаратных и программных компонентов системы, «абсолютно надежные» системы, динамическое программирование Беллмана.
Keywords: electronic medical data processing systems, databases, redundancy of hardware and software components of the system, “absolutely reliable” systems, Bellman dynamic programming.

Введение

Последнее десятилетие в России характеризуется созданием и развитием медицинских инфокоммуникационных систем, обеспечивающих реализацию мониторинга здоровья населения по разнообразным отраслям медицины путем объединения и использования информационных ресурсов, накопленных и хранящихся в базах данных различного назначения. Интеграция данных систем, в свою очередь, делает возможной реализацию на их основе более сложных и разветвленных (распределенных) информационных систем, предназначенных для решения задач контроля и оценивания как состояния здоровья граждан РФ, так и качества оказания им соответствующих медицинских услуг. На текущий момент времени в стране реализованы различные компоненты инфокоммуникационной системы, предназначенной для решения различного рода задач как прикладной медицины, так и теоретической медицинской науки.

Дальнейшее развитие информатизации в здравоохранении позволит со временем перейти к созданию современных инфокоммуникационных систем, предназначенных для сбора, хранения и обработки данных о состоянии здоровья населения различных регионов страны, осуществить создание полноценных региональных центров обработки данных в системе здравоохранения, сделает возможным переход к практической реализации различного рода систем по сбору и анализу данных медицинской статистики, а также позволит лечебным учреждениям широко использовать их в своей повседневной деятельности, а в перспективе - реализовать мониторинг состояния здоровья населения в текущем масштабе времени, перейдя тем самым к реализации и созданию обобщенного (целостного и единого) инфокоммуникационного пространства в сфере организации здравоохранения [Родиков и др., 2016; Карпов и др., 2017; Гуров и др., 2018].

Краткий анализ существующих способов повышения надежности инфокоммуникационных систем

В настоящее время одним из основных требований, предъявляемых к инфокоммуникационным системам медицинского назначения, является безопасность хранимой в них информации. В этой связи особое значение приобретают надежность подобных систем и защищенность данных от сбоев (потерь, искажений), реализуемые через способность баз данных восстанавливаться (как по чтению, так и по записи) при воздействии на них различных (внешних и внутренних) дестабилизирующих факторов, в том числе - и при выходе из строя (отказе) отдельных элементов системы. Такие отказоустойчивые системы хранения информации (базы данных) повышенной надежности реализуются как на основе аппаратной избыточности, так и путем введения избыточности по данным. При этом достаточно широко используются резервные сервера и платформы, а также применяется дублирование (зеркалирование) дисков, при котором один диск является копией другого, защищающей его от сбоев, а сами данные, подверженные изменениям, также дублируются (резервируются) и хранятся децентрализованно (на различных серверах).

Резервирование элементов инфокоммуникационных систем как способ повышения их надежности

Следует отметить, что резервирование компонентов системы и дублирование хранящейся в ней информации на различных платформах неминуемо приводит и к повышению затрат на ее реализацию. В связи с этим при реализации высоконадежных систем, предназначенных для хранения и обработки электронных медицинских данных, на практике зачастую возникает задача по выбору оптимального числа резервируемых компонентов системы (как аппаратных, так и программных), при которых обеспечивается заданная надежность системы в целом при минимизации ее общей стоимости. Иными словами, реализуемая на практике отказоустойчивая система обработки и хранения медицинских данных должна обеспечивать заданное значение вероятности безотказной работы на заданном интервале времени (как правило, не ниже заранее установленного предела), а цена такой системы должна быть минимально возможной. При этом критерием выбора и сравнения между собой систем хранения и обработки данных, предлагаемых различными производителями программного обеспечения, может являться более высокое значение вероятности безотказной работы, реализуемое системой в целом, а в случае одинаковых значений указанной вероятности - минимальная стоимость реализации данной системы. Таким образом, на практике задача сводится к определению оптимального числа программных и аппаратных компонентов системы, предназначенной для хранения и обработки электронных данных, при котором вероятность отказа системы в целом не превышает заданного значения, а стоимость всей системы минимизируется.

Примеры решения подобного рода оптимизационных задач применительно к техническим устройствам (системам), имеющим в своем составе определенное число разнотипных элементов, характеризующихся различными значениями вероятности выполнения задачи и различной стоимостью, путем применения динамического программирования Беллмана были изложены, например, в работах [Королев, 2012; Королев, Савин, 2019]. Метод Беллмана относится к обширной группе методов скалярной оптимизации (программирования) и позволяет в значительной степени снизить количество подвергающихся анализу частных решений за счет использования заранее полученных (уже имеющихся) данных о тех решениях, которые не удовлетворяют заданным требованиям (и, следовательно, являются недопустимыми). Таким образом, при использовании данного метода достижение общей (поставленной) цели оптимизации достигается за счет поэтапного (последовательного) решения менее сложных - так называемых, частных, задач (целей) оптимизации.

Путем использования математического аппарата, основанного на динамическом программировании Беллмана, может быть найдено решение сформулированной выше оптимизационной задачи - определение оптимального числа компонентов (подпрограмм - специализированных баз данных), входящих в состав системы обработки электронных медицинских данных, при котором обеспечивается выполнение заданных требований к надежности реализуемой системы, а ее стоимость в целом минимизируется.

Обоснование возможности применения метода динамического программирования Беллмана

Типовая инфокоммуникационная система медицинского назначения включает в себя, как правило, несколько взаимосвязанных модулей (компонентов) - например, базы данных (программы), предназначенные для реализации функций электронной регистратуры, базы данных для хранения электронных историй болезни, для формирования различного рода регистров (реестров) медицинских организаций, врачей и лекарственных средств, подпрограммы для оценки качества работы медицинских организаций, различного рода системы поддержки принятия решений и другие программы.

Указанные выше компоненты инфокоммуникационной системы медицинского назначения (базы данных) могут быть реализованы на базе различного прикладного программного обеспечения, отличающегося друг от друга ценой и надежностью (в частности, от различных производителей). При этом, как было отмечено выше, в целях повышения надежности системы и ее защиты от сбоев все описанные выше базы данных (реестры), как правило, дублируются (резервируются). В связи с этим на практике зачастую возникает задача по выбору оптимального количества резервируемых компонентов системы (в частности, по требуемой кратности резервирования баз данных, лежащих в основе систем обработки электронных медицинских данных), позволяющего обеспечить выполнение предъявляемых к системе требований по надежности при снижении (минимизации) затрат на ее реализацию.

Сущность предлагаемого в работе подхода к решению данной проблемы поясним на примере обобщенной системы, предназначенной для хранения и обработки электронных медицинских данных, включающей в себя, например, три различные базы данных - специализированные программные продукты, предназначенные, например, для реализации функций электронной регистратуры (первая база данных), для ведения реестров врачей и лекарственных средств (вторая база) и для хранения информации, необходимой для формирования электронных историй болезни по каждому из пациентов (третья база). При этом для повышения надежности информация, хранящаяся в каждой из этих трех баз данных, резервируется на разных дисках (ЭВМ), т. е. выполнение требований по надежности обеспечивается за счет использования избыточности (путем организации резервирования) компонентов системы (как аппаратных, так и программных). Требуется определить количество резервных копий каждой из указанных выше баз данных, хранящихся на разнесенных (дублирующих друг друга) жестких дисках (кратность их резервирования), необходимое для обеспечения заданной надежности системы обработки и хранения электронных медицинских данных в целом, а именно: допустимая вероятность отказа всей системы не должна превышать заданного значения (например, $q < 0,025$), при этом суммарная стоимость C реализуемой системы должна быть минимальной. Значения вероятности отказа для каждой из трех входящих в ее состав подпрограмм (баз данных) и их стоимость приведены в таблице 1. Буквами п, Г2 и гз в таблице 1 обозначено число резервных копий описанных выше подпрограмм (первой, второй и третьей баз данных соответственно).

При реализации устройством метода динамического программирования Беллмана на первом шаге в анализ включаются первая и вторая базы данных (в данном примере - подпрограммы, предназначенные для реализации функций электронной регистратуры и для ведения специализированных реестров). Далее для данного случая рассматривают все возможные варианты решений (сочетаний и комбинаций), и строят таблицу 2.

Таблица 1

Table 1

Вероятность отказа используемых при реализации системы компонентов
(баз данных различного типа) и их стоимость

The probability of component failure (databases of various types) and their cost

Тип (номер) базы данных (компонента системы)	Вероятность отказа компонента системы, *qi*	Стоимость реализации компонента системы Ci, усл. ед.
1	0,2	5
2	0,1	4
3	0,15	3

Таблица 2

Table 2

Варианты решений на первом шаге (с учетом первой и второй баз данных)

Solution options in the first step (for two databases)

Характеристики для первой базы данных	Характеристики для второй базы данных		
	Г2=0 0,1/4	Г2=1 0,01/8	Г2=2 0,001/12
Г1=0; 0,2/5	0,3/9	0,21/13	0,201/17
Г1=1; 0,04/10	0,14/14	0,05/18	0,041/22
Г1=2; 0,08/15	0,108/19	0,018/23*	0,009/27*

В таблице 2 информация в виде дроби означает следующее:

числитель - суммарная вероятность отказа системы при использовании первой и второй баз данных, $q_{1,2}$;

знаменатель - суммарная стоимость реализуемых при этом компонентов системы (баз данных), $C_{1,2}$.

Значения $q_{1,2}$ и $C_{1,2}$ рассчитаны по формулам:

$$q_{1,2} = q_1^{r_1+1} + q_2^{r_2+1} - q_1^{r_1+1} \cdot q_2^{r_2+1} \approx q_1^{r_1+1} + q_2^{r_2+1};$$

$$C_{1,2} = C_1(1 + r_1) + C_2(1 + r_2),$$

где r_1, r_2 - количество резервных копий (кратность резервирования) первой и второй баз данных соответственно.

Из таблицы 2 видно, что в анализ на втором шаге следует включить ячейки таблицы (ситуации), помеченные знаками «*». Каждая из этих ситуаций на втором шаге будет рассматриваться как один компонент.

На втором шаге в анализ включаем базу данных третьего типа (предназначенную для формирования электронных историй болезни по каждому из пациентов) и снова рассматриваем все возможные варианты реализации системы хранения данных при использовании уже трех подпрограмм. Затем строим таблицу 3 с учетом отмеченных двух компонентов.

Данные, сведенные в таблицу 3, получены с использованием формул:

$$q_{1,2,3} = q_{1,2} + q_3^{r_3+1} - q_{1,2} \cdot q_3^{r_3+1} \approx q_{1,2} + q_3^{r_3+1};$$

$$C_{1,2,3} = C_{1,2} + C_3(1 + r_3). \qquad (1)$$

Из таблицы 3 видно, что оптимальному решению для данного примера отвечает ситуация *ri=2,* Г2=1, гз=2, то есть для выполнения заданных требований по надежности системы необходимо обеспечить для первой базы данных кратность резервирования, равную единице, а для второй и третьей баз данных - равную двум.

Таблица 3

Table 3

Варианты решений на втором шаге (с учетом трех баз данных)

Solution options in the second step (for three databases)

Характеристики для третьей базы данных	Варианты из таблицы 2	
	Г1=2 Г2=1 0,018/23	Г1=2 Г2=2 0,009/27
Г3=0; 0,15/3	0,168/26	0,159/30
Г3=1; 0,023/6	0,041/29	0,032/33
Г3=2; 0,003/9	0,021/32	0,012/36*

При этом суммарная стоимость реализуемой системы хранения и обработки электронных данных составляет 32 условные единицы, а вероятность отказа системы в целом составит q = 0,021. При невыполнении условий по кратности резервирования хотя бы для одной из входящих в ее состав баз данных (например, при ri=0) для тех же исходных данных вероятность отказа системы в целом уже не будет удовлетворять заданным требованиям.

Необходимо отметить, что на практике применение резервирования при создании различного рода баз данных (например, медицинского назначения) целесообразно лишь при решении достаточно важных задач, при которых цена ошибки может оказаться недопустимо высокой. В связи с этим отказ (выход из строя) компонентов системы, предназначенной для хранения и обработки такой информации, зачастую абсолютно недопустим. В этой связи по аналогии с используемым в теории надежности термином «абсолютно надежная система» [Половко, Гуров, 2003] для рассматриваемых систем обработки и хранения электронных медицинских данных также можно использовать понятие «абсолютно надежной» системы (АНС), под которой будем понимать систему, обеспечивающую вероятность безотказной работы не меньше заданной, и для которой одновременно удовлетворяются качественные критерии - критерии, которые обеспечивают заданные показатели, не требуя численных расчетов и испытаний по определению численных показателей надежности. При этом для АНС должны быть реализованы и т. н. качественные критерии, позволяющие проверить выполнение описанных выше жестких требований по надежности, но не требующих для своего применения различного рода расчетов (экспериментов).

Такие критерии (как одинарные, так и комплексные) не должны противоречить известным численным показателям надежности, должны быть независимыми от них при создании и проектировании АТ, а также достаточно легко реализуемыми на практике [Половко, Гуров, 2003].

Применительно к системам обработки и хранения электронных медицинских данных на практике, например, могут оказаться оправданными такие критерии:

1. устройство (система обработки и хранения данных) будет являться «абсолютно надежным» в том случае, если время непрерывной работы такого устройства (системы) не превысит заранее установленного (заданного) значения;

2. устройство (система) будет являться «абсолютно надежным» в том случае, если отказ (выход из строя) нескольких входящих в его состав элементов m за счет резервирования элементов системы не приводит к отказу всего устройства (системы) в целом.

Очевидно, что для реализации и применения описанных выше критериев на практике (для достижения системой статуса «абсолютно надежной» на заданном интервале времени) необходимо либо снижение времени непрерывной работы устройства (системы хранения и обработки электронных данных), либо корректировка количества элементов (программных и аппаратных компонентов системы), входящих в ее состав (основных и резервных).

Рассмотрим применение указанного качественного критерия абсолютно надежной системы на примерах.

Пример 1. Предположим, что проектируемая система (база данных), предназначенная для хранения и обработки информации медицинского назначения, имеет в своем составе несколько программных и аппаратных компонентов с интенсивностью

отказа каждой из них, равной А = 2 -10 $^{-7}$. При этом будем считать абсолютно надежной системой такую систему, которая обеспечивает требуемые значения вероятности безотказной работы системы на заданном интервале времени (в данном примере для наглядности будут использованы значения 0,999; 0,99 и 0,9). Необходимо рассчитать время непрерывной работы системы, при котором она будет являться «абсолютно надежной».

Решение. В соответствии с основной формулой надежности взаимосвязь вероятности безотказной работы и интенсивности отказов может быть описана

аналитическим выражением вида $P(t) = e^{-\int_0^t A(t)dt}$. При $A(t) = A = const$ можно записать:

Pu(^р) = е ^{пА} “е"р. С учетом данного выражения получим соотношение nAt <_ln р,.

Следовательно, при выборе в качестве требований для вероятности безотказной работы на заданном интервале времени значений, равных 0,999, время непрерывной работы системы

может составлять не более $t_{непр} = \frac{\_ \ln 0{,}999}{2{,}10\_^{7} - 50}$ = 100 часов; при использовании

нормированных значений вероятности безотказной работы, равных 0,99, это время составит

$t_{Непр} \frac{\text{--------}q\ \wedge}{2{,}10\_' - 50}$ = 1000 часов; при выборе в качестве заданных требований значений

вероятности безотказной работы, равных 0,999, время непрерывной работы системы может

составлять $t_{непр}$ = ^ ^ ^ ^θ ^ = 1050 часов, и т. д. Следовательно, описанная в данном

примере система может быть названа «абсолютно надежной» в том случае, если время (интервал) ее непрерывной работы будет меньше полученных в ходе решения примера значений.

Пример 2. Выполнение требований к «абсолютно надежной» системе может достигаться не только за счет уменьшения времени непрерывной работы, но и за счет организации и оптимизации резервирования отдельных элементов (подпрограмм и компонентов различного типа), входящих в ее состав. Если известны значения вероятности отказов элементов, входящих в состав проектируемой системы, на заданном интервале времени ее непрерывной работы, и при этом требования к абсолютно надежной системе остаются такими же, что и в предыдущем примере, то может быть найдена кратность резервирования, при котором рассматриваемая система являлась бы абсолютно надежной.

Решение. Вероятность отказа системы при организации резервирования на заданном интервале времени определяется по известной формуле Рут(^р) = q($t_{Н}$еп$_{Р}$)”, где

Я(1непр) - общая (итоговая) вероятность отказа для рассматриваемой системы без организации резервирования, а m - число резервных элементов (кратность

резервирования). Отсюда следует, что $m = \frac{\ln Рут(^\ )_{непр}}{l^{n}\ q(^{t}непр\ )}$— 1, и на основе данного выражения

может быть сформулирован искомый качественный критерий: система будет являться абсолютно надежной, если отказ некоторого количества m различных аппаратных и программных x компонентов, входящих в ее состав, не ведет к выходу из строя (отказу) всей резервируемой системы в целом. Результаты расчета необходимого числа резервных компонентов такой абсолютно надежной системы (кратности их резервирования) приведены в таблице 4.

Таблица 4
Table 4

Кратность резервирования элементов системы,
необходимая для достижения системой статуса «абсолютно надежной»
The number of backup elements of an absolutely reliable system

Допустимые значения вероятности безотказной работы системы	Тип резервируемых программных и аппаратных компонентов системы	Требуемая кратность резервирования m
0,999	Первый	3,292 « 4
	Второй	2
	Третий	2,641 « 3
0,99	Первый	1,861 « 2
	Второй	1
	Третий	1,427 « 2
0,9	Первый	0,431 « 1
	Второй	1
	Третий	0,214 « 1

Помимо программной реализации описанного выше подхода, для расчета оптимального числа резервных элементов различных типов может быть использовано также предоставленное на рис. 1 устройство [Королев и др. 2008; Королев и др., 2012; Королев и др., 2018; Королев, Савин, 2019].

Введенное понятие абсолютно надежной системы (АНС) имеет свои особенности. Так, например, АНС в ходе эксплуатации, как правило, не требует контроля значений численных (вероятностных) показателей надежности. Однако она подразумевает организацию постоянного контроля за выполнением используемых при реализации системы качественных критериев - например, контроля работоспособности входящих в состав системы (компонентов) - как основных, так и резервных. Очевидно, что при отказе хотя бы одного из таких элементов система останется по-прежнему работоспособной, однако утратит статус «абсолютно надежной» до момента восстановления работоспособности отказавшего компонента.

При реализации АНС и выборе соответствующих качественных критериев, проверка которых может быть легко реализуема в ходе ее дальнейшей эксплуатации, как правило, проводятся как качественные, так и количественные испытания.

Первый вид испытаний предназначен для проверки того, является ли в текущий момент времени рассматриваемая система «абсолютно надежной». В том случае, если качественные критерии выполняются, продолжается дальнейшая эксплуатация системы, в противоположном случае необходима организация соответствующих работ по доведению анализируемой системы до статуса «абсолютно надежной» [Половко, Гуров, 2003].

Кроме того, при использовании АНС может применяться понятие «отказ АНС»: в этом случае система остается работоспособной, но утрачивает статус АНС. Вероятность такого события (отказа АНС) определяется следующим образом [Половко, Гуров, 2003]:

$$Л \overset{n}{\underset{?=1}{Z}} 4\ I = Z)-ZP(44) \underset{i,j\ ,k}{УE} P(4A,A,) -\ldots + (-1\}''-'P(A,ЛA3.A,)$$

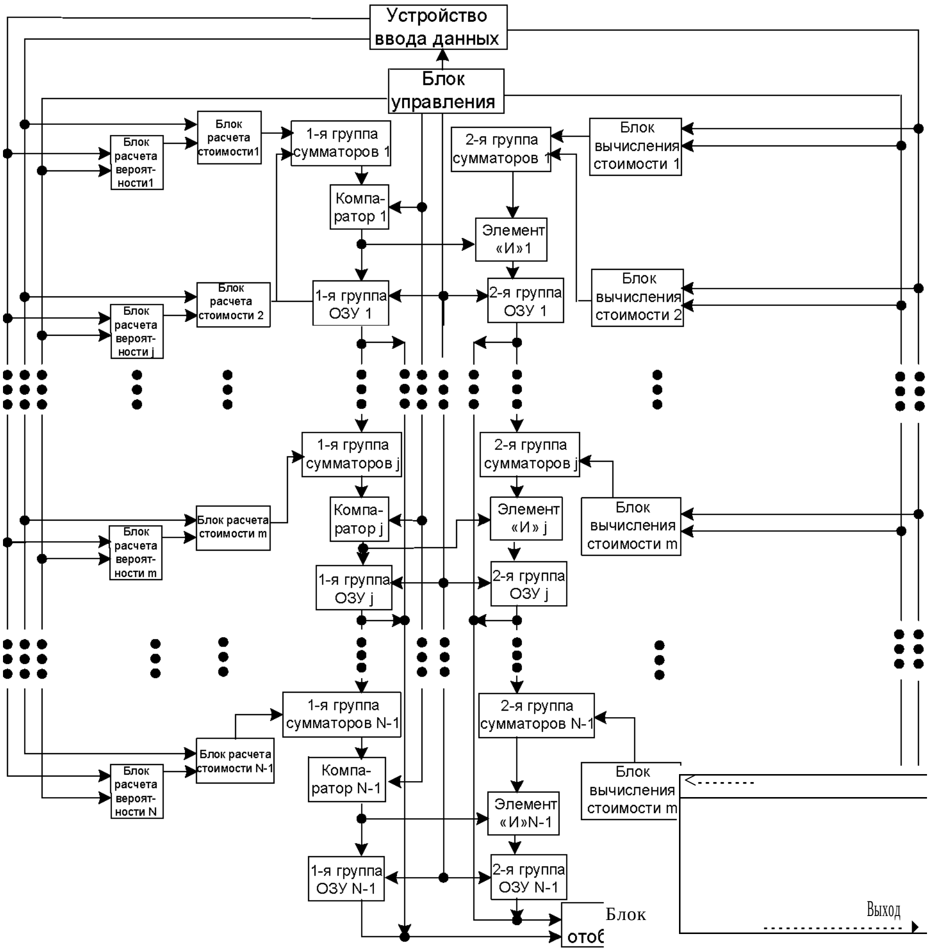

Рис. 1. Устройство для решения задач оптимизации
Fig. 1. Device for solving optimization problems

Заключение

К недостаткам, существенно снижающим область применения термина «абсолютно надежные системы», на практике относятся следующие [Половко, Гуров, 2003; Королев и др. 2012; Королев, Савин, 2019]:

- при использовании таких систем необходима разработка соответствующих качественных критериев надежности для каждого конкретного устройства (системы);
- при применении таких систем требуется постоянный контроль (диагностика) их технического состояния (проверка работоспособности) для выявления рассмотренных ранее «отказов абсолютно надежной системы», а реализация такого контроля на практике зачастую затруднена.

Таким образом, при реализации высоконадежных систем, предназначенных для обработки (поиска, ранжирования, сжатия, хранения и т. п.) электронных медицинских данных различного назначения [Кучукова, Вершков, 2018; Серебровский и др., 2019], достаточно перспективным направлением представляется использование метода динамического программирования Беллмана, позволяющего обеспечить выполнение установленных требований по надежности систем обработки и хранения информации при одновременном снижении расходов на реализацию подобных систем. Кроме того, описанный в работе подход может найти свое применение не только относительно инфокоммуникационных систем медицинского назначения, но и для иных защищенных ведомственных и корпоративных сетей связи, реализованных на основе современных технологий [Boudec, 1998; Goleniewski, Wilson, 2006; Grant, 2016; Басов, 2018].

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (проекты № 18-07-00380, № 19-07-00832), в рамках бюджетной темы №0073-2019-0004, частичной финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (грант 08-08).

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic (projectu № 18-07-00380, № 19-07-00832, by the state research 0073-2019-0004, partial financial support of the Government of the Russian Federation (grant 08-08).

Список литературы

1. Басов О.О., Миронов О.Ю., Шелковый Д.В. 2018. Моделирование потоков данных реального времени в защищенных корпоративных сетях связи на основе детерминированного исчисления. Научные ведомости Белгородского государственного университета. 45(3): 584-594.
2. Гуров А.Н. и др. 2018. Применение программного комплекса для анализа эффективности нового менеджмента в работе поликлиник и выявления причин неудовлетворенности пациентов первичной медико-санитарной помощью. Врач и информационные технологии. 10: 6-17.
3. Карпов О.Э. и др. 2017. Цифровое здравоохранение. Необходимость и предпосылки. Врач и информационные технологии. 3: 6-22.
4. Королев М.В. и др. 2008. Устройство для решения задач оптимизации. Патент на изобретение РФ № 2320006.
5. Королев М.В., Ларкин Е.И., Иванов Ю.Б. 2012. Обеспечение защищенности речевой информации при использовании СВАЗ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Госуниверситет-УНПК. 4(294): 111-120.
6. Королев М.В., Савин Л.О. 2019. Оптимизация параметров контроля и ТО критичных агрегатов АТ при ее эксплуатации в особых условиях. Вестник МАДИ. 1 (56).
7. Королёв М.В., Савин Л.О., Офицеров А.И. 2018. Устройство для обеспечения определения количества резервных элементов системы. Патент на полезную модель РФ № 183386. Бюл. № 26.
8. Кучукова Н.Н., Вершков Н.А. 2018. Математическая модель подсистемы поиска и ранжирования документов в информационно-поисковых системах. Научные ведомости Белгородского государственного университета.
9. Половко А.М., Гуров С.В. 2003. Основы теории надежности. СПб: БХВ-Петербург. 704 с.
10. Родиков М.В., Кочетова Л.В., Пахомова Р.А. 2016. Модели взаимодействия врача и пациента в современной медицине. Современные проблемы науки и образования. 6.
11. Серебровский В.В и др. 2019. Исследование эффективности объединения процессов поиска и сжатия символьной информации. Научные ведомости Белгородского государственного университета. 46(2): 283-295.
12. Boudec J. 1998. Application of Network Calculus To Guaranteed Service Networks. IEEE Trans. on Information Theory, 44 (3). Available at: https://infoscience.epfl.ch/record/27/files/LeBoudec98.pdf (accessed 17 сентября 2019).
13. Grant A.E. 2016. Communication Technology Update and Fundamentals. Routledge N.Y. 704 p.
14. Goleniewski L., Wilson K. 2006. Telecommunications Essentials, Second Edition: Amazon Digital Services LLC. 928 p.

References

1. Basov O.O., Mironov O.Yu., Silkoviy D.V. 2018. Modeling real-time data streams in secure corporate communication networks based on deterministic calculus. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta - Scientific reports of Belgorod State University. 45 (3): 584-594. (in Russian)
2. Gurov A.N., Ogneva E.Ju., Plutnitsky A.N., Davronov I.V. 2018. Application of a software package for analyzing the effectiveness of a new work management of outpatient hospitals and identifying causes of patients' dissatisfaction with primary health care. Vrach i informacionnye tehnologii - Information technologies for the Physician. 10: 6-17. (in Russian).
3. Karpov O.E., Subbotin S.A., Shishkanov D.V., Zamyatin M.N. 2017. Digital public health. Necessity and background. Vrach i informacionnye tehnologii - Information technologies for the Physician. 3: 6-22. (in Russian).

4. Korolev M.V. et al. 2008. Ustrojstvo dlja reshenija zadach optimizacii [A device for solving optimization problems]. Patent RF for the invention 2320006. (in Russian).

5. Korolev M.V., Larkin E.I., Ivanov Yu.B. 2012. Securing voice information when using SVAZ. Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii: Gosuniversitet-UNPK - Fundamental and applied problems of engineering and technology: State University-UNPK. 4(294): 111-120. (in Russian).

6. Korolev M.V., Savin L.O. 2019. Optimization of control and maintenance parameters of critical AT units during its operation in special conditions. Vestnik MADI - Vestnik MADI. 1 (56). (in Russian).

7. Korolev M.V., Savin L.O., Officers A.I. 2018. Ustrojstvo dlja obespechenija opredelenija kolichestva rezervnyh jelementov sistemy [A device for determining the number of redundant system elements]. Patent RF for utility model 183386. Bull. 26.

8. Kuchukova N.N., Vershkov N.A. 2018. The mathematical model of the subsystem for searching and ranking documents in information retrieval systems. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta - Scientific Bulletin of the Belgorod State University. 45(1): 584-594. (in Russian)

9. Polovko A.M., Gurov S.V. 2003. Osnovy teorii nadezhnosti [Fundamentals of reliability theory]. St. Petersburg: BHV-Petersburg. 704 p.

10. Rodikov M.V., Kochetova L.V., Pakhomova R.A. 2016. Models of doctor-patient interaction in modern medicine. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija - Modern problems of science and education. 6. (in Russian).

11. Serebrovsky V.V. 2019. Study of the effectiveness of combining the search and compression of symbolic information. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta - Scientific reports of Belgorod State University. 46(2): 283-295. (in Russian)

12. Boudec J. 1998. Application of Network Calculus To Guaranteed Service Networks. IEEE Trans. on Information Theory, 44 (3). Available at: https://infoscience.epfl.ch/record/27/files/LeBoudec98.pdf (accessed: 17 September 2019).

13. Grant A.E. 2016. Communication Technology Update and Fundamentals. Routledge N.Y. 704 p.

14. Goleniewski L., Wilson K. 2006. Telecommunications Essentials, Second Edition: Amazon Digital Services LLC. 928 p.

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Королев М.В., Королева Л.Ю., Мотиенко А.И. 2019. Применение метода динамического программирования Беллмана при реализации высоконадежных систем обработки электронных медицинских данных. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (4): 689-699. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-689-699

Korolev M.V., Koroleva L.Yu., Motienko A.I. 2019. Application of the method Bellman dynamic programming for the implementation of high-reliable processing systems electronic medical data. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (4): 689-699 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-689-699