

УДК 654

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.213>

**Т. Т. ВЕЛЯМОВ, А. А. АЙЖАНОВА\*, Л. К. ДЕМЕУБАЕВА**

*Казахстанский инженерно-технологический университет, кафедра инженерия компьютерных, автоматизированных и телекоммуникационных систем, Алматы, Казахстан  
e-mail: fea\_vel@mail.ru, aizhanova62@mail.ru, laurita\_is@mail.ru*

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ОТКАЗАХ С МИНИМАЛЬНЫМИ ИЗДЕРЖКАМИ**

*Для обеспечения устойчивой работы технологического оборудования инфокоммуникационной компании предлагается рассмотреть стратегию управления издержками на содержание оборудования при вероятностных отказах. Проведен анализ в условиях неопределенности появления отказов на примере функционирования сети одной из ведущих инфокоммуникационной компании Казахстана. На основе этого создана оптимизационно-расчетная модель, входными параметрами которой являются вероятности отказов базового оборудования инфокоммуникационной компании, а выходными параметрами – значение оптимального времени замены оборудования и целевой функции. Выбор целевой функции сводится к минимизации времени на привлечение и хранение комплектующих оборудования. Задача управления отказами формулируется как непрерывная стохастическая задача оптимизации.*

*Данная статья посвящена разработке уникальной математической модели, решающей задачу управления отказами. Разработанная программная реализация задачи управления запасами оборудования при случайном отказе показывает расчеты предлагаемой математической модели, минимизирует издержки на содержание оборудования и наиболее соответствует условиям функционирования инфокоммуникационной компаний с учетом современных особенностей экономических колебаний на финансовом рынке и стремительного развития технологий ИТ.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, устойчивость, случайные отказы, оптимизация, задачи управления, принятие решений.

**Введение.** Мы живем в глобальном мире, где технологии, особенно информационные и коммуникационные, имеют стремительное развитие. Как следствие, такими же темпами растет потребность в запасных и комплектующих деталях для обеспечения устойчивой работы базового оборудования. Решения задач по оптимизации управления технологическим процессом встречаются во многих работах отечественных и зарубежных авторов [1-5].

Приняв во внимание тот факт, что средняя наработка на отказ современного оборудования и его отдельных частей и узлов может исчисляться годами, современные методы определения оптимального времени периодичности технического обслуживания, ремонта или замены в основном основаны на сборе и обработке информации о надежности промышленных объектов, при их испытаниях в лабораториях или на

\* E-mail корреспондирующего автора: aizhanova62@mail.ru

специальных полигонах, а также путем длительных эксплуатационных испытаний. Такой подход требует значительного времени и становится дорогостоящими. Помимо этого, необходимо учитывать, что продолжительность ремонтного цикла может быть разным даже в рамках одной модели оборудования, так как срок службы элементов различных устройств различен. Также стохастический процесс износа и разницы между сроками службы оборудования вносит дополнительные условия, которые не учитываются системой [6-8].

Таким образом, для устойчивого функционирования оборудования компании и непрерывности технологического процесса необходимо ставить и решать задачи управления запасами для того, чтобы гарантировать бесперебойность электропитания, отслеживать производство оборудования у поставщиков (снятие с производства определенных моделей, выход обновлений и т.п.), учитывать временные особенности транспортировки от поставщика до потребителя, а также спрос и предложение.

Исходя из этого, классическую классификацию задач управления запасами по наличию того или иного признака характеризуют следующим образом:

- в зависимости от периодичности и характера пополнения запасов, когда при закупе оборудования закупаются сразу все комплектующие, в противном случае докупаются по мере выхода из строя и далее пополняются до оптимального уровня;

- в зависимости от характера отказа, когда предугадать, какой запас комплектующих необходимо осуществить – невозможно, так как задача сбора статистики сбоев оборудования за определенный период времени является сложной при принятии решений. Если оборудование современное и инновационное, то для сбора подобной статистики потребуется время;

- в зависимости от количества типов ресурсов, когда для устранения неполадок в оборудовании требуется полная или частичная его замена;

- по виду целевой функций, когда от эффективности работы инфокоммуникационного оборудования зависит прибыль компании.

В общем случае задачи управления запасами сводятся к задачам нелинейного программирования, единых методов и решения которых нет [9].

Также необходимо учитывать, что современные оптимизационные модели управления предлагают определить оптимальный уровень запасов и комплектующих в основном путем определение наработки на отказ, среднего времени восстановления и других показателей надежности оборудования, что требует длительного периода статистических исследований, который может превысит время эксплуатации самого оборудования, особенно когда имеет место моральное устаревание технологического оборудования, что присуще оборудованию, эксплуатируемого в инфокоммуникационных компаниях [10-12]. С учетом этого, предлагаемая методика является уникальной, так как определяет уровень запаса комплектующего оборудования в условиях неопределенности отказа с минимизацией суммарных затрат на приобретение и средних затрат из-за нехватки запчастей при поломке путем табулирования критериальной функции задачи управления запасами при случайном отказе. Предлагаемая в статье методика может применяться в любой отрасли хозяйственной деятельности, запасы следует рассматривать как тип инвестированного актива с надлежащим контролем рисков для компаний.

**Постановка задачи и выбор критерия оптимизации задачи управления запасами при случайном отказе оборудования.** Пусть для некоторого оборудования целесообразно иметь запасные части (для простоты одного наименования). Известно, что вероятность поломки  $n$  штук этих деталей равна  $P(n)$ . Стоимость одной детали равна  $S_1$ , убытки в случае поломки и отсутствия запчастей –  $S_2$ . Требуется определить оптимальное количество запасных деталей  $N$ , т.е. такое, чтобы суммарные затраты на приобретение и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке были минимальны.

Возможны два исключаящих друг друга случая:  $n \leq N$ , когда запас покрывает спрос, и  $n > N$ , когда имеется недостаток запчастей.

**Математическая модель задачи оптимизации технологического процесса управления запасами при случайном отказе оборудования.** Суммарные затраты на приобретение и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке рассчитываются как:

$$Z(N) = S_1 \sum_{n=0}^N (N - n)P(n) + S_2 \sum_{n=N+1}^{\infty} (n - N)P(n), \quad (1)$$

где  $n$  – запас деталей;  $P(n)$  – вероятность поломки  $n$  штук деталей;  $Z(N)$  – расходы на приобретение и пополнение запасов деталей при поломке;  $N$  – оптимальный уровень запаса деталей.

Чтобы определить оптимальный объем запасных деталей  $N$  для устойчивого функционирования инфокоммуникационной компании, необходимо минимизировать суммарные затраты на приобретение запасных частей при случайном отказе и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке.

Подсчитаем значение целевой функции  $Z$  для двух случаев  $(N + 1)$  и  $(N - 1)$ :

$$\begin{aligned} Z(N - 1) &= S_1 \sum_{n=0}^{N+1} (N + 1 - n)P(n) + S_2 \sum_{n=N+2}^{\infty} (n - N - 1)P(n) = \\ &= S_1 \sum_{n=0}^N (N + 1 - n)P(n) + S_2 (N + 1 - N - 1)P(N + 1) + \\ &+ S_2 \sum_{n=N+1}^{\infty} (n + N - 1)P(n) + S_2 (N + 1 - N - 1)P(N + 1) = \\ &= S_1 \sum_{n=0}^N (N - n)P(n) + S_1 \sum_{n=0}^N P(n) + S_2 \sum_{n=N+1}^{\infty} (n - N)P(n) - S_2 \sum_{n=N+1}^{\infty} P(n) + S_1 \sum_{n=0}^N P(n) + \\ &+ S_2 \sum_{n=N+1}^{\infty} P(n). \end{aligned} \quad (2)$$

Используя равенство  $\sum_{n=0}^{\infty} P(n) = 1$  записываем как:

$$\sum_{n=N+1}^{\infty} P(n) = 1 - \sum_{n=0}^N P(n). \quad (3)$$

Окончательно получаем:

$$Z(N+1) = Z(N) + S_1 \sum_{n=0}^N P(n) - S_2 \left[ 1 - \sum_{n=0}^N P(n) \right] = Y(N) + (S_1 + S_2) \sum_{n=0}^N P(n) - S_2. \quad (4)$$

Аналогично можно показать, что

$$Z(N-1) = Z(N) - (S_1 + S_2) \sum_{n=0}^N P(n) + S_2. \quad (5)$$

$Z(N)$  минимально, если  $Z(N-1) > Z(N) > Z(N+1)$ :

$$Z(N+1) - Z(N) = (S_1 + S_2) \sum_{n=0}^N P(n) - S_1 > 0; \quad (6)$$

$$Z(N-1) - Z(N) = -(S_1 + S_2) \sum_{n=0}^{N-1} P(n) + S_2 > 0; \quad (7)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} P(n) < \frac{S_2}{S_1 + S_2} < \sum_{n=0}^{\bar{N}} P(n). \quad (8)$$

Вычисляя левую и правую части последнего неравенства, можно без труда найти такое  $\bar{N}$ , при котором отношение  $S_2/(S_1 + S_2)$  окажется заключенным между ними. Это значение  $\bar{N}$  и является оптимальным.

Если отказ оборудования – непрерывная величина, то, заменяя распределение вероятностей  $P(n)$  плотностью распределения вероятностей  $f(n)$ , получим математическую модель в таком виде:

$$Z(N) = S_1 \int_0^N (N-n)f(n)dn + S_2 \int_{N+1}^{\infty} (n-N)f(n)dn. \quad (9)$$

И чтобы определить оптимальное значение необходимого запаса оборудования  $N_{opt}$ , необходимо вычислить производную:

$$\frac{dZ}{dN} = S_1 \int_0^N f(n)dn - S_2 \int_{N+1}^{\infty} f(n)dn. \quad (10)$$

Используя равенство  $\int_0^{\infty} f(n)dn = 1$ , получаем:

$$\int_{N+1}^{\infty} f(n)dn = 1 - \int_0^N f(n)dn \quad (11)$$

и окончательно получим выражение для производной:

$$\frac{dZ}{dN} = (S_1 + S_2) \int_0^N f(n)dn - S_2 \quad (12)$$

Приравнивая это выражение нулю, получаем выражение, по которому можно определить оптимальное количество необходимых запасных деталей:

$$S = \frac{S_2}{S_1 + S_2} = \int_0^N f(n)dn = P(n \leq \bar{N}). \quad (13)$$

**Моделирование интеллектуальной системы для расчета оптимального уровня запасов при случайном отказе.** На основе построенной математической

модели (13) разработана интеллектуальная система на базе языка программирования C++.

Для сбора и анализа статистических данных сбоев разработана имитационная модель телекоммуникационной сети (рисунок 1), которая состоит из следующих устройств:

- 1) маршрутизаторы Cisco 2811;
- 2) роутеры Cisco 2950-24;
- 3) персональные компьютеры;
- 4) сервера FTP, DHCP, HTTP;
- 5) IP-телефоны.

В имитационной модели сегмента сети (рисунок 1) были настроены основные узлы, назначены IP-адреса, настроен протокол маршрутизации EIGRP, в котором LAN1 передающая сторона, а LAN2 – принимающая сторона.

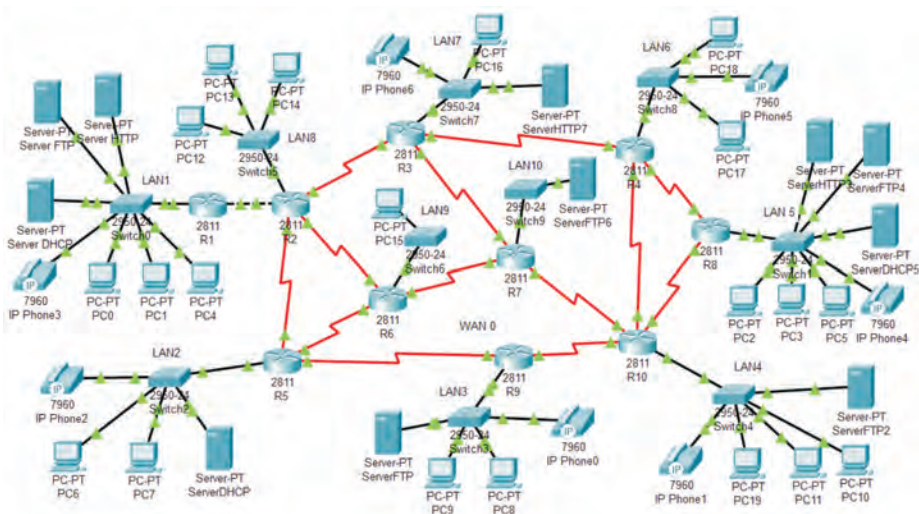


Рисунок 1 – Архитектура исследуемой сети

Для проверки доступности узлов был установлен 32-битный эхо-запрос от PC6 из области LAN2 с адресом 192.168.1.8 до FTP-сервера в области LAN1 с адресом 192.168.15.5 (рисунок 2).

```
PC>ping 192.168.15.5
Pinging 192.168.15.5 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.15.5: bytes=32 time=25ms TTL=123
Reply from 192.168.15.5: bytes=32 time=12ms TTL=123
Reply from 192.168.15.5: bytes=32 time=12ms TTL=123
Reply from 192.168.15.5: bytes=32 time=12ms TTL=123
Ping statistics for 192.168.15.5:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 12ms, Maximum = 25ms, Average = 15ms
```

Рисунок 2 – Результат проверки доступности узла связи

На рисунке 2 показано, что соединение было получено, и потеря передачи пакетов Ethernet составила «0%». Среднее время приема-передачи пакета составляет 15 мс. Это наилучший возможный результат команды ping, что указывает на низкую загрузку сети и отсутствие необходимости повторно отправлять ту же информацию.

В силу того, что сбор статистических данных выхода из строя телекоммуникационного оборудования это случайный процесс, который необходимо собирать годами и может зависеть от множества факторов, примем условно имитацию отказа оборудования разработанной телекоммуникационной сети за случайный отказ и произведем расчет оптимального количества запасов в условии минимизации затрат.

Вычисляя левую и правую части неравенства (13), можно без труда найти такое значение  $\bar{N}$ , при котором отношение  $\frac{S_2}{S_1 + S_2}$  окажется заключенным между ними. Это значение  $\bar{N}$  и является оптимальным количеством запасов комплектующего оборудования для поддержания функционирования телекоммуникационной сети. Наглядно это можно представить так, что при построении функции распределения отказов, опираясь на статистические данные исследуемой телекоммуникационной сети, используя положения, допущения и методы теории вероятности и математической статистики функция распределения имеет вид, представленный на рисунке 3. И проверяя гипотезу неравенства (13) по обе стороны, мы придем к единому решению, которое будет удовлетворять нашим требованиям по минимизации расходов. Это значение  $\bar{N}$  и будет являться оптимальным.

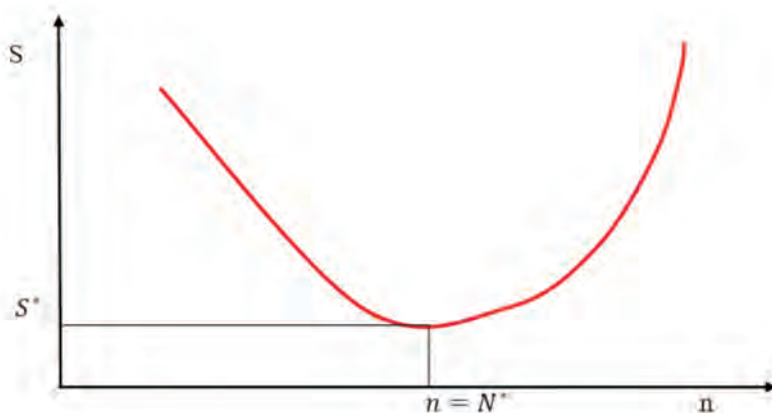


Рисунок 3 – Функция распределения запасов оборудования при случайном сбое

Опредив нижний критический уровень запаса комплектующих оборудования, получим минимальные издержки на управление запасами при случайном отказе оборудования.

Так как отказ является непрерывной величиной, то, заменяя распределение вероятностей  $P(n)$  плотностью распределения вероятностей  $f(n)$ , получим математическую модель в таком виде:

$$Z(N) = S_1 \int_0^N (N - n) f(n) dn + S_2 \int_{N+1}^{\infty} (n - N) f(n) dn. \quad (14)$$

И чтобы определить оптимальное значение  $N_{opt}$ , необходимо вычислить производную:

$$\frac{dZ}{dN} = S_1 \int_0^N f(n) dn - S_2 \int_{N+1}^{\infty} f(n) dn. \quad (15)$$

Используя равенство  $\int_0^{\infty} f(n) dn = 1$  получаем:

$$\int_{N+1}^{\infty} f(n) dn = 1 - \int_0^N f(n) dn \quad (16)$$

и окончательно – выражение для производной:

$$\frac{dZ}{dN} = (S_1 + S_2) \int_0^N f(n) dn - S_2 \quad (17)$$

Приравнявая это выражение (17) нулю, получаем:

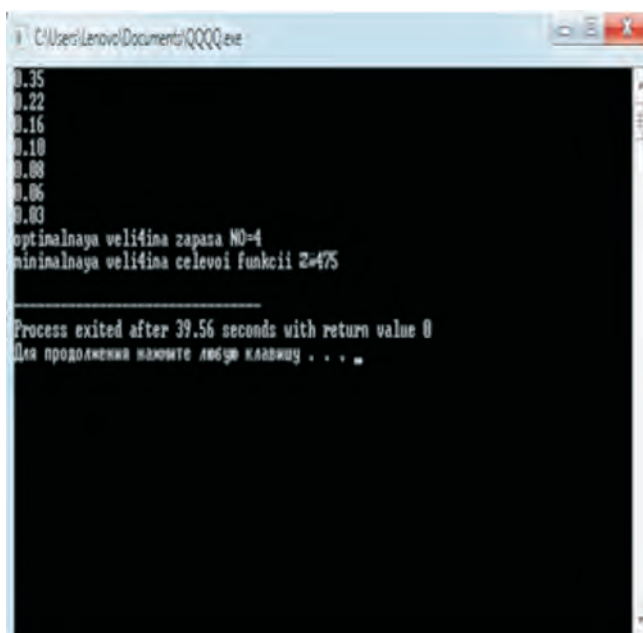
$$S = \frac{S_2}{S_1 + S_2} = \int_0^N f(n) dn = P(n \leq \bar{N}). \quad (18)$$

По выражению (18) можно определить оптимальное количество необходимых запасных деталей.

Приняв условие отключения оборудования за случайный отказ, для простоты эксперимента выберем один тип оборудования. Пусть таким оборудованием будет служить FTP-сервер с организованными на него семи вариантами воздействий для выхода из строя, включая DoS-атаки, отключение питания, аппаратный сбой, введение неправильных данных для соединения, повреждение кабельных линий, ошибки при настройке конфигурации сервера, неисправность одного из основных компонентов составляющих FTP-сервер (например, материнской платы, жестких дисков).

Исходя из собранных статистических данных, следует, что вероятность выхода из строя FTP-сервера  $P(n)$  в соответствии выбранных критериев выхода из строя соответственно равна: 0,35; 0,22; 0,16; 0,10; 0,08; 0,06; 0,03.

Пусть стоимость FTP-сервера будет равна  $S_1 = 200$  д.е., затраты в случае выхода из строя сервера  $S_2 = 500$  д.е., максимальное число исследуемых типов выхода из строя оборудования  $N_{max} = 7$ . Результаты работы программы на основе математической модели расчета оптимального количества запасов приведена на рисунке 4.



```
C:\Users\Lenovo\Documents\QQQQ.exe
0.35
0.22
0.16
0.10
0.08
0.06
0.03
оптимальная величина запаса N0=4
минимальная величина целевой функции Z=475
-----
Process exited after 39.56 seconds with return value 0
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

*Рисунок 4* – Результаты работы программы

Результаты расчета: оптимальная величина запаса  $N_0 = 4$ , что говорит о том, что на первые 4 типа сбоев необходимо обратить внимание при эксплуатации телекоммуникационной сети.

Минимальная величина целевой функции, суммарные затраты на приобретение и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке составят  $Z = 475$  д.е.

**Заключение.** В работе предложена интеллектуальная информационная система расчета запасов инфоркоммуникационного оборудования при случайном отказе из-за выхода из строя оборудования по выбранным критериям на основе математической модели управления запасами, не имеющая аналогов в настоящее время. Показано, что в общем случае задачи управления запасами оборудования сводятся к задачам нелинейного программирования, общих методов, решения которых нет. Проведены статистические исследования отказов и представлены результаты вероятности сбоев разного типа для разработанной телекоммуникационной сети. На основе данных исследований с использованием математической модели построена эмпирическая функция распределения. Разработана программа определения оптимального уровня запасов при случайном отказе и суммарных затрат на приобретение оборудования и средних затрат из-за нехватки запчастей при поломке. Входными параметрами задачи является вероятность выхода из строя оборудования, а выходными параметрами являются оптимальный уровень запаса и минимальное значение целевой функции, оценивающий уровень издержек компании на приобретения и хранения запасных частей к оборудованию при их поломке. Результаты полученных разработок в рамках статьи могут быть использованы при управлении запасами комплектующих в реально функ-



ционирующих инфокоммуникационных компаниях и позволяют минимизировать издержки, соответственно, повысить рентабельность компании и оптимизировать работу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Rusin A.Yu., Baryshev Ya.V. Improving Equipment Reliability and System Maintenance and Repair Efficiency. Civil Engineering Journal. Vol. 5, No. 8, August, 2019, pp.1799-1811. DOI: 10.28991/cej-2019-03091372

2 Kizim A.V. The Developing of the Maintenance and Repair Body of Knowledge to Increasing Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency. Information Resources Management Journal 29, no. 4 (October 2016), pp. 49–64. doi:10.4018/irmj.2016100104.

3 А.А. Истомина, В.Я. Бадеников, А.Л. Истомин. Оптимизация задачи управления запасами при случайном спросе. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 19, №1(2), 2017. С.406-409

4 Fonseca P., Mota E. A survey on fault management in software-defined networks. IEEE Communications Surveys Tutorials, 2017. doi: 10.1109/COMST.2017.2719862

5 Jackson I., Tolujevs J., Kegenbekov Zh. Review of inventory control models: a classification based on methods of obtaining optimal control parameters. Transport and Telecommunication, 2020, volume 21, no. 3, 191–202, Latvia. DOI 10.2478/ttj-2020-0015

6 Leszek K., Migawa K. Semi-Markov System Model for Minimal Repair Maintenance. Ekspolatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. Vol.21, no. 2 (March 22, 2019), pp.256–260. doi:10.17531/ein.2019.2.9.

7 Chin-Chih Ch. Optimum Preventive Maintenance Policies for Systems Subject to Random Working Times, Replacement, and Minimal Repair. Computers & Industrial Engineering 67 (January 2014), pp. 185–194. doi:10.1016/j.cie.2013.11.011.

8 Hoang Ph. Reliability of Systems with Multiple Failure Modes. Handbook of Reliability Engineering (2006), pp. 19–36. doi:10.1007/1-85233-841-5\_2.

9 Евдокимов Д.А. Модели управления запасами. Реализация модели Уилсона без ограничений в среде пакета Mathcad // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». Россия, 2019. С.1-12.

10 Кошевой О. С. Разработка управленческих решений: учеб.пособие. – Пенза: «Изд-во ПГУ», 2005. 64 с

11 Кузнецова, Н. В. Методы принятия управленческих решений: учебное пособие/ Н.В.Кузнецова – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 222 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-010495-9. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/491686> (дата обращения: 30.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

12 Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: Учебное пособие / Е.С. Вентцель. – М.: КноРус, 2013. – 192 с.

13 Foerster K., Schmid S., and Vissicchio S. Survey of consistent software-defined network updates. IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 21, pp. 1435–1461, Doi: 10.1109/COMST.2018.2876749

#### REFERENCES

1 Rusin A.Yu., Baryshev Ya.V. Improving Equipment Reliability and System Maintenance and Repair Efficiency. Civil Engineering Journal. Vol. 5, No. 8, August, 2019, pp.1799-1811. DOI: 10.28991/cej-2019-03091372

2 Kizim A.V. The Developing of the Maintenance and Repair Body of Knowledge to Increasing Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency. Information Resources Management Journal 29, no. 4 (October 2016), pp. 49–64. doi:10.4018/irmj.2016100104.

3 Istomin A.A., Badenikov V.Ya., Istomin A.L. Optimization of the inventory management problem for random demand. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vol. 19, No. 1 (2), 2017. pp. 406-409.

4 Fonseca P., Mota E. A survey on fault management in software-defined networks. IEEE Communications Surveys Tutorials, 2017. doi: 10.1109/COMST.2017.2719862

5 Jackson I., Tolujevs J., Kegenbekov Zh. Review of inventory control models: a classification based on methods of obtaining optimal control parameters. Transport and Telecommunication, 2020, volume 21, no. 3, 191–202, Latvia. DOI 10.2478/ttj-2020-0015

6 Leszek K., Migawa K. Semi-Markov System Model for Minimal Repair Maintenance. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability. Vol.21, no. 2 (March 22, 2019), pp.256–260. doi:10.17531/ein.2019.2.9.

7 Chin-Chih Ch. Optimum Preventive Maintenance Policies for Systems Subject to Random Working Times, Replacement, and Minimal Repair. Computers & Industrial Engineering 67 (January 2014), pp. 185–194. doi:10.1016/j.cie.2013.11.011.

8 Hoang Ph. Reliability of Systems with Multiple Failure Modes. Handbook of Reliability Engineering (2006), pp. 19–36. doi:10.1007/1-85233-841-5\_2.

9 Evdokimov D.A. Inventory management models. Implementation of the Wilson model without limits in the environment of the mathcad package // Proceedings of the XI International Student Scientific Conference Student Scientific Forum. Russia, 2019. pp.1-12.

10 Koshevoy O. S. Development of managerial decisions: textbook. -Penza.: Publishing House of PGU, 2005. 64 p.

11 Kuznetsova, N.V. Management decision-making methods: study guide / N.V. Kuznetsova - Moscow: SIC INFRA-M, 2015. - 222 p.

12 Wentzel, E.S. Operations Research: Tasks, Principles, Methodology: Textbook / E.S. Wentzel. - M.: KnoRus, 2013. - 192 p.

13 Foerster K., Schmid S., and Vissicchio S. Survey of consistent software-defined network updates. IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 21, pp. 1435–1461, Doi: 10.1109/COMST.2018.2876749

***Т. Т. ВЕЛЯМОВ, А. А АЙЖАНОВА, Л. К. ДЕМЕУБАЕВА***

*Қазақстан инженерлік-технологиялық университеті, компьютерлік  
автоматтандырылған және телекоммуникациялық жүйелер инженерия  
кафедрасы, Алматы, Қазақстан*

**МИНИМАЛДЫ ШЫҒЫНДАРМЕН КЕЗДЕЙСОҚ ІСТЕН ШЫҚҚАН  
КЕЗДЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТЫҢ ЖҰМЫС ІСТЕУІНІҢ  
ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ  
АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІ**

*Инфокоммуникациялық компанияның технологиялық жабдығының тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін ықтимал ақаулар кезінде жабдыққа қызмет көрсету шығындарын басқару стратегиясын қарастыру ұсынылады. Қазақстандағы жетекші инфокоммуникациялық*

компаниялардың бірінің желісінің жұмыс істеу мысалында ақаулардың пайда болуының белгісіздігі жағдайында талдау жүргізілді. Осының негізінде оңтайландыру-есептеу моделі құрылды, оның кіріс параметрлері инфокоммуникациялық кәсіпорынның негізгі жабдығының істен шығу ықтималдығы, ал шығыс параметрлері жабдықты ауыстырудың оңтайлы уақытының мәні және мақсаттық функция болып табылады. Мақсаттық функцияны таңдау жабдық құрамдастарын тарту және сақтау уақытын азайтуға дейін қысқарады. Сәтсіздіктерді басқару мәселесі үздіксіз стохастикалық оңтайландыру мәселесі ретінде тұжырымдалған.

Бұл мақала сәтсіздіктерді басқару мәселесін шешетін бірегей математикалық модельді әзірлеуге арналған. Кездейсоқ істен шыққан жағдайда жабдықтарды түгендеуді басқару тапсырмасын әзірлеген бағдарламалық қамтамасыз ету ұсынылып отырған математикалық модельдің есептеулерін көрсетеді, жабдықты ұстауға кететін шығындарды азайтады және қазіргі заманғы талаптарды ескере отырып, инфокоммуникациялық компанияның жұмыс істеу шарттарына көбіне сәйкес келеді. қаржы нарығындағы экономикалық ауытқулардың ерекшеліктері және IT-технологиялардың қарқынды дамуы.

**Түйін сөздер:** интеллектуалды жүйе, тұрақтылық, кездейсоқ істен шығулар, оңтайландыру, бақылау тапсырмалары, шешім қабылдау.

**T. T. VELYAMOV, A. A. AIZHANOVA, L. K. DEMEUBAYEVA**

*Kazakhstan University of Engineering and Technology, Department of Engineering of Computer, Automated and Telecommunication Systems, Almaty, Kazakhstan.*

## **INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR PROVIDING THE STABILITY OF THE FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN THE EVENT OF RANDOM FAILURES WITH MINIMUM COSTS**

*To ensure the stable operation of the technological equipment of an infocommunication company, it is proposed to consider a strategy for managing the costs of maintaining equipment in case of probable failures. An analysis was carried out under the conditions of uncertainty of the appearance of failures on the example of the functioning of the network of one of the leading infocommunication companies in Kazakhstan. Based on this, an optimization-computational model was created, the input parameters of which are the failure probabilities of the basic equipment of an infocommunication company, and the output parameters are the value of the optimal equipment replacement time and the objective function. The choice of the objective function is reduced to minimizing the time for attracting and storing equipment components. The problem of failure management is formulated as a continuous stochastic optimization problem.*

*This article is devoted to the development of a unique mathematical model that solves the problem of failure management. The developed software implementation of the task of managing inventory of equipment in case of random failure shows the calculations of the proposed mathematical model, minimizes the costs of maintaining equipment and most corresponds to the conditions for the functioning of an infocommunication company, taking into account modern features of economic fluctuations in the financial market and the rapid development of IT technologies.*

**Keywords:** intelligent system, stability, random failures, optimization, control tasks, decision making techniques.