

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»  
12-13 декабря 2024

УДК/ББК 519.25/22.176

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЩЕРБА ОТ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ**

**ШИШОВ ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ**

Доцент кафедры гуманитарные науки и межкультурные коммуникации, Московский политехнический университет (Электростальский филиал), 144012, Россия, Московская область, г. Электросталь, ул. Радио, д. 36.; E-mail: [vfshishov@mail.ru](mailto:vfshishov@mail.ru), тел. 89063987914

**КОЛЕСНИКОВА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА**

Доцент кафедры прикладной информатики, Пензенский государственный технологический университет. 440066, Россия, Пензенская область, г. Пенза, ул. Гагарина, д.1а.; E-mail: [Kolesnikova.lana@inbox.ru](mailto:Kolesnikova.lana@inbox.ru); тел.89273612442

**МАМЕЛИН АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ**

Пензенский государственный технологический университет. 440066, Россия, Пензенская область, г. Пенза, ул. Гагарина, д.1а.; тел.89374440960

**ГРЫСИН ДАНИИЛ АНДРЕЕВИЧ**

*ФГБОУ ВО МГУТУ им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)*, e-mail: [grisin33@gmail.com](mailto:grisin33@gmail.com), тел. +79180315579

**Аннотация:** Предупреждение техногенных аварий, ликвидация их последствий стали важной задачей органов власти всех уровней. Для решения этой задачи необходимо прогнозировать величину возможного ущерба от аварий, определять оптимальные резервы, для ликвидации их последствий аварий и проведения аварийно-восстановительных работ.

В статье представлена методика прогнозирования запаса средств на предупреждение и ликвидацию последствий техногенных аварий, основанная на применении стохастических моделей управления запасами.

**Ключевые слова:** техногенные аварии; ущерб; прогнозирование; оптимальные запасы; закон распределения ущерба.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»  
12-13 декабря 2024

**Введение.** В настоящее время все большую значимость приобретают вопросы предупреждения техногенных аварий и катастроф в промышленности, обусловленных, в первую очередь, износом основных производственных фондов и других факторов. В результате аварий и катастроф на производственных объектах России ежегодно погибает около тысячи человек, а материальный ущерб от них достигает 3–4% валового внутреннего продукта страны.

Существуют предприятия, от надежной работы которых зависит социально-экономическая стабильность во всем регионе. К ним, прежде всего, относятся организации, основной функцией которых является поставка тепловой и электрической энергии населению, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям региона. По мере эксплуатации тепловых и электрических сетей происходят различные аварии и катастрофы, приводящие к материальному и экологическому ущербу различной степени тяжести. Несмотря на принимаемые меры, уровень аварийности на энергетических сетях остается достаточно высоким.

В каждом регионе для обеспечения населения теплом и электроэнергией действуют «Теплосетевые компании», основной задачей которых является обеспечение надежной и бесперебойной поставки тепла и электроэнергии потребителям при функционировании в конкурентной среде. Это крупные теплоэлектроснабжающие предприятия, обеспечивающие теплом жилищно-коммунальные объекты и различные предприятия, эксплуатируют линии электропередачи и электроподстанции. Примерная структура таких потребителей представлена на рис. 1.

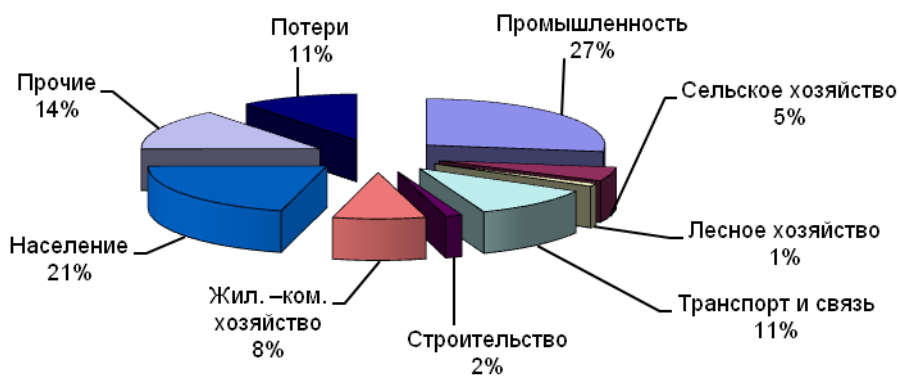


Рис. 1 Примерная структура потребителей в «Теплосетевой компании»

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»

12-13 декабря 2024

В процессе эксплуатации тепловых и электрических сетей компании происходят аварии и инциденты с материальным и экологическим ущербом различной тяжести. Уровень аварийности на энергетических сетях в регионах остается достаточно высоким. На основе статистических данных в «Теплосетевых компаниях» регионов за 2010–2020 годы была проведена оценка ущерба от аварий на энергетических сетях, зафиксированы характер аварии или инцидента, дата возникновения аварийной ситуации, подсчитанный экономический ущерб и время, в течение которого авария была ликвидирована. Полученные результаты свидетельствуют о том, что число аварий, ущерб и время ликвидации последствий аварий имеют значительные вариации.

Основными причинами высокого уровня аварийности на энергосетях в регионах являются: отказ оборудования; неработоспособность средств защиты, автоматики и приборного обеспечения; отклонение параметров эксплуатации; ошибочные действия персонала; внешние источники (отключение электроэнергии, воды, природные явления, злоумышленные действия третьих лиц) (табл. 1).

Таблица 1. Причины и структура аварий и инцидентов на тепловых и электрических сетях

Причина	Удельный вес, %	
	Тепловые сети	Электрические сети
Нарушение технологии эксплуатации	9,5	7,3
Отказ оборудования	59,0	47,8
Ложное действие защиты и автоматики	8,6	6,5
Отклонение параметров эксплуатации	10,5	9,4
Ошибочные действия персонала	2,9	4,3
Влияние внешних источников	9,5	24,7

#### Методика прогнозирования ущерба от техногенных аварий

Поскольку предотвратить многие аварии и катастрофы не представляется возможным, особую значимость приобретает задача минимизации ущерба от них. Для ее решения необходимо определять прогнозную величину возможного ущерба, оптимальные резервы, достаточные для скорейшей ликвидации последствий и проведения аварийно-восстановительных работ.

В связи с большой вариацией величины ущерба во времени не представляется возможным достаточно надежно оценить его тренд, сезонную или циклическую компоненту.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»

12-13 декабря 2024

В рассматриваемых временных рядах хорошо проявляет себя только нерегулярная (случайная) компонента, которая формируется, в основном, под действием случайных факторов (аварийных ситуаций различной природы и характера). В этой связи величину предполагаемого ущерба на следующий год предлагается определять на основе стохастической модели управления запасами со случайным спросом, имеющей вид:

$$C(s) = c_1 \int_0^s (s-r)f(r)dr + c_2 \int_s^{\infty} (r-s)f(r)dr, \quad (1)$$

где  $C(s)$  – математическое ожидание суммарных затрат;  $s$  – уровень запаса;  $r$  – величина спроса;  $f(r)$  – закон распределения (функция плотности вероятности) величины спроса;  $c_1$  – затраты на хранение запаса;  $c_2$  – штраф за дефицит.

Задача управления запасами состоит в определении такого запаса  $s$ , при котором математическое ожидание суммарных затрат  $C(s)$  принимает минимальное значение.

При непрерывном случайном спросе  $r$  выражение (1) будет минимальным при значении  $s_0$ , определяемом из уравнения

$$F(s_0) = \frac{c_2}{c_1 + c_2}, \quad (2)$$

где  $F(s) = P(r < s)$  – функция (закон) распределения спроса.

Рассматривая спрос  $r$  как непрерывную случайную величину, будем далее определять минимальное значение  $C(s)$  при уровне запаса  $s_0$  из уравнения (2).

Таким образом, для определения оптимального запаса  $s_0$  средств на ликвидацию последствий аварий и инцидентов необходимо знать закон распределения случайной величины спроса  $r$ , что фактически сводится к определению закона распределения величины ущерба (потерь).

Анализ статистических данных позволил предположить и доказывається, что величина ущерба от единичной аварии подчиняется показательному (экспоненциальному) закону с некоторым параметром  $\lambda$ . Тогда оптимальный уровень запаса средств на ликвидацию последствий от аварии определяется как

$$s_0 = \frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 + \frac{c_2}{c_1} \right), \quad (3)$$

при этом оценка параметра  $\lambda$  производится по статистическим данным.

Для определения запаса средств, необходимых для ликвидации последствий от аварий, которые могут произойти в следующем году, необходимо знать закон распределения

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»

12-13 декабря 2024

величины суммарного ущерба за год  $Y$ , определяемого как сумма ущербов от отдельных аварий  $X_i$ , имеющих показательное распределение (с параметром  $\lambda$ ):

$$Y = \sum_{i=1}^n X_i,$$

где  $n$  – число предполагаемых аварий за год.

Случайная величина  $Y$  как сумма независимых случайных величин, имеющих показательное распределение, имеет гамма-распределение с функцией плотности, определяемой параметрами  $\lambda$  и  $n$ :

$$f(y) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} y^{n-1} e^{-\lambda y}, & y > 0 \\ 0, & y \leq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$  – гамма-функция Эйлера.

Тот факт, что элементы выборки можно считать независимыми случайными величинами, подтверждается с помощью непараметрического критерия серий знаков.

Статистические оценки параметров распределения  $Y$  вычисляются по формулам:

$$\tilde{\lambda} = \frac{\bar{y}}{s^2}, \quad \tilde{n} = \left(\frac{\bar{y}}{s}\right)^2, \quad \text{где } \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad y_i \text{ – суммарный ущерб за год.}$$

Оптимальный уровень запаса средств (в денежном выражении) на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций за год определяется, с учетом гамма-распределения величины суммарного ущерба, из уравнения:

$$F(y) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^y u^{n-1} e^{-\lambda u} du = \frac{c_2}{c_1 + c_2}. \quad (5)$$

При этом затраты на хранение  $c_1$  принимаются равными годовому уровню инфляции в рассматриваемом году, а штраф за дефицит  $c_2$  определяется как ставка по кредитам коммерческого банка. Решая уравнение (5) с оценками параметров распределения  $\tilde{\lambda}$  и  $\tilde{n}$  относительно  $y$ , получаем величину оптимального запаса средств на ликвидацию последствий аварийных ситуаций в следующем году  $y_{opt}$ .

Для того чтобы величина ущерба не превысила запаса средств на ликвидацию последствий аварий, необходимо оптимальный запас увеличить на величину страхового запаса.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»

12-13 декабря 2024

Величину страхового запаса можно определить как верхнюю границу доверительного интервала при заданном уровне значимости  $\alpha$ . Решая уравнение

$$\frac{\lambda^n}{\Gamma(n)} \int_0^y u^{n-1} e^{-\lambda u} du = 1 - \alpha \quad (6)$$

относительно величины  $y$ , получим величину  $y_B$ .

Разница между оптимальной величиной запаса  $y_{opt}$  и его верхней границей  $y_B$  и будет величиной страхового запаса:

$$z_{стр} = y_B - y_{opt}.$$

Страховой запас гарантирует, что с заданной доверительной вероятностью  $p = 1 - \alpha$  величина суммарного ущерба не превысит его верхней границы  $y_B$ .

**Заключение.** Представленная методика позволяет оценить необходимые оптимальные размеры аварийного запаса средств, предназначенных для предупреждения и ликвидации последствий аварийных ситуаций в случае техногенных аварий, катастроф и инцидентов. Тем самым можно высвободить значительные средства, замороженные в запасах, и направить их на необходимые первоочередные мероприятия по повышению противоаварийной защиты, например, на обновление основных производственных фондов предприятия.

### Список литературы

- [1]. Мхитарян, В.С. Анализ данных в MS Excel: учеб. пособие / В. С. Мхитарян, В. Ф. Шишов, А. Ю. Козлов, – М.: КУРС, 2018 – 368 с.
- [2]. Мхитарян, В. С. Вероятностно-статистический анализ данных с использованием MS Excel: Учебник и практикум. Часть 1. Вероятностные методы анализа данных. / В.С. Мхитарян, В.Ф. Шишов, Д.В. Искоркин, А.Ю. Козлов. – М.: КУРС, 2023. – 360 с.
- [3]. Мхитарян, В.С. Вероятностно-статистический анализ данных с использованием MS Excel: Учебник и практикум. Часть 2. Математико-статистические методы анализа данных. / В.С. Мхитарян, В.Ф. Шишов, Д.В. Искоркин, А.Ю. Козлов. – М.: КУРС, 2023. – 416 с.
- [4]. Мхитарян, В.С. Теория вероятностей и математическая статистика с использованием MS Excel. Учебник и практикум в 2-х частях: Ч. 1. Теория вероятностей / Мхитарян В.С., Шишов В.Ф., Козлов, А.Ю., Искоркин Д.В. – М.: КУРС, 2019. – 240 с.
- [5]. Мхитарян, В.С. Теория вероятностей и математическая статистика с использованием MS Excel. Учебник и практикум в 2-х частях: Ч. 2. Математическая статистика / Мхитарян В.С., Шишов В.Ф., Козлов, А.Ю., Искоркин Д.В. – М.: КУРС, 2019. – 304 с.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»

12-13 декабря 2024

[6]. Черняева, Н.А. Информационная поддержка принятия решений по оценке ущерба от лесных пожаров. / Н.А. Черняева, В.Ф. Шишов. Научное обозрение. 2013. №11. С. 133-140.

[7]. Шишов, В.Ф. Статистический анализ и прогнозирование ущерба от техногенных аварий в регионе. Монография. / В.Ф. Шишов, И.А. Шишова – Пенза, 2013 – 149 с.

[8]. Шишов, В. Ф. Математические методы и модели исследования операций: учебник / В. Ф. Шишов, С. В. Колесникова. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. университета, 2013 –213 с.

[9]. Шишов, В. Ф. Методы оптимизации и принятия решений. Учебное пособие. / В. Ф. Шишов, С. В. Колесникова. Москва Вологда, Инфра-Инженерия, 2025 -276 с.

## **FORECASTING DAMAGE FROM MAN-MADE ACCIDENTS USING INVENTORY MANAGEMENT MODELS**

### **SHISHOV VLADIMIR FEDOROVICH**

Associate Professor of the Department of Humanities and Intercultural Communications,  
Moscow Polytechnic University (Elektrostal branch), 144012, Russia, Moscow region, Elektrostal,  
Radio str., 36.; E-mail: vfshishov@mail.ru, tel. 89063987914

### **KOLESNIKOVA SVETLANA VIKTOROVNA**

Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Penza State Technological  
University. 440066, Russia, Penza region, Penza, Gagarin str., 1a.; E-mail:  
Kolesnikova.lana@inbox.ru; tel. 89273612442

### **MAMELIN ALEXANDER ALEKSEEVICH**

Penza State Technological University. 440066, Russia, Penza region, Penza, Gagarina str.,  
1a. tel.89374440960

### **GRYSIN DANIL ADREEVICH**

K.G. Razumovsky Moscow State Technical University (First Cossack University), e-mail:  
[grisin33@gmail.com](mailto:grisin33@gmail.com)

**Abstract:** Prevention of man-made accidents and elimination of their consequences have become an important task for authorities at all levels. To solve this problem, it is necessary to predict the amount of possible damage from accidents, determine optimal reserves for eliminating their consequences and carrying out emergency recovery operations. The article presents a methodology for forecasting the reserve of funds for the prevention and elimination of the consequences of man-made accidents, based on the use of stochastic models of inventory management.

**Key words:** man-made accidents; damage; forecasting; optimal reserves; law of damage distribution.

### **References**

[1]..Mkhitaryan, V.S. Data Analysis in MS Excel: a tutorial / V.S. Mkhitaryan, V.F. Shishov, A.Yu. Kozlov, -  
M.: KURS, 2018 - 368 p.

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С  
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ЗНАНИЯМИ»

12-13 декабря 2024

- [1].. Mkhitarian, V.S. Probabilistic and statistical analysis of data using MS Excel: Textbook and workshop. Part 1. Probabilistic methods of data analysis. / V.S. Mkhitarian, V.F. Shishov, D.V. Iskorkin, A.Yu. Kozlov. - М.: KURS, 2023. - 360 p.
- [2]. Mkhitarian, V.S. Probabilistic and statistical analysis of data using MS Excel: Textbook and workshop. Part 2. Mathematical and statistical methods of data analysis. / V.S. Mkhitarian, V.F. Shishov, D.V. Iskorkin, A.Yu. Kozlov. - М.: KURS, 2023. - 416 p.
- [3].. Mkhitarian, V.S. Probability Theory and Mathematical Statistics Using MS Excel. Textbook and workshop in 2 parts: Part 1. Probability Theory / Mkhitarian V.S., Shishov V.F., Kozlov, A.Yu., Iskorkin D.V. - М.: KURS, 2019. -- 240 p.
- [4].. Mkhitarian, V.S. Probability Theory and Mathematical Statistics Using MS Excel. Textbook and workshop in 2 parts: Part 2. Mathematical Statistics / Mkhitarian V.S., Shishov V.F., Kozlov, A.Yu., Iskorkin D.V. - М.: KURS, 2019. -- 304 p.
- [5].. Chernyaeva, N.A. Information support for decision-making on forest fire damage assessment. / N.A. Chernyaeva, V.F. Shishov. Scientific Review. 2013. No. 11. P. 133-140.
- [6]. Shishov, V.F. Statistical Analysis and Forecasting of Damage from Man-Made Accidents in the Region. Monograph. / V.F. Shishov, I.A. Shishova – Penza, 2013 – 149 p.
- [7]. Shishov, V.F. Mathematical Methods and Models of Operations Research: textbook / V.F. Shishov, S.V. Kolesnikova. Penza: Publishing House of Penza State Technological University, 2013 – 213 p.
- [8]. Shishov, V.F. Methods of Optimization and Decision Making. Tutorial. / V.F. Shishov, S.V. Kolesnikova. Moscow Vologda, Infra-Engineering, 2025 -276 p.