

Земсков В.В. Прогнозирование риска и безопасность технических систем

Zemskov V.V. Prognostication of risk and safety of the technical systems

Земсков Владимир Васильевич, заведующий кафедрой «Анализ риска и экономическая безопасность» Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, д.э.н.

Zemskov Vladimir Vasilyevich, manager by a department «Analysis of risk and economic security» of the Financial university at Government of Russian Federation, d.e.n.

Аннотация

Любая хозяйственная деятельность должна учитывать обязательные минимальные требования, обеспечивающие пожарную безопасность, механическую безопасность, промышленную безопасность, термическую безопасность, химическую безопасность и т.п. Правовые основы установления этих обязательных требований к продукции и процессам (методам) ее производства, эксплуатации и утилизации установлены в Федеральном законе от 27 декабря 2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (далее – Закон № 184-ФЗ).

До последнего времени в экономической литературе вопросы прогнозирования рисков и безопасности технических систем рассматривались изолированно и сводились в основном совершенствованию правовых основ установления обязательных требований к производству и утилизации продукции, а проблемы применения статистических методов как развитие экономического анализа в целях повышения качества контрольных мероприятий не рассматривались.

Abstract

Any economic activity must take into account obligatory minimum requirements, providing fire safety, mechanical safety, industrial safety, thermal safety, chemical safety etc. Legal frameworks of establishment of these obligatory requirements to the products and processes (to the methods) of its production, exploitation and utilization are set in the Federal law from December, 27 2002 № 184-FZ «About the technical adjusting» (further is Law № 184-FZ).

To for some time past in economic literature the questions of prognostication of risks and safety of the technical systems were examined isolated and taken mainly to perfection of legal frameworks of establishment of obligatory requirements to the production and utilization of products, and the problems of application of statistical methods as development of economic analysis for upgrading control measures were not examined.

Ключевые слова

Безопасность технических систем, риск, прогнозирование рисков, промышленная безопасность.

Keywords

Safety of the technical systems, risk, prognostication of risks, industrial safety.

В соответствии со статьей 2 Закона № 184-ФЗ, документом, устанавливающим обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования является технический регламент.

Для таможенного союза разработан и утвержден технический регламент «О безопасности машин и оборудования ТР ТС 010/2011 [3].

Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда и безопасности устанавливают минимально необходимые требования к продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации. Одним из составляющих элементов этих минимальных требований являются безопасность и риск.

В техническом регламенте Таможенного союза приведены следующие определения:

Термин	Смысловое содержание терминов
Опасность	Потенциальный источник причинения ущерба жизни и здоровью человека, имуществу, окружающей среде
Отказ	Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния машины и (или) оборудования вследствие конструктивных нарушений при проектировании, несоблюдения установленного процесса изготовления или ремонта, невыполнения правил или руководства (инструкции) по эксплуатации
Риск	Сочетание вероятности причинения вреда и последствий этого вреда для жизни или здоровья человека, имущества, окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений
Система	Совокупность машин и (или) оборудования, объединенных конструктивно и (или) функционально для выполнения требуемых функций

Согласно ТР ТС 010/2011 для установленных видов опасности применяются следующие методы оценки риска:

расчетный;

экспериментальный;

экспертный;

по данным эксплуатации аналогичных машин и (или) оборудования (метод аналогий).

Таким образом, анализу рисков при осуществлении хозяйственной деятельности придается огромное значение. Очень важно оценить возможный риск и ущерб при осуществлении предпринимательской деятельности. Так, например, годовой отчет акционерного общества должен обязательно содержать описание основных факторов риска, связанных с деятельностью акционерного общества [2].

Риски рекомендуется по оценивать по следующим параметрам:

экономические (финансовые риски, риски банкротства);

социальные (вероятность массового сокращения работников);

технические (остановки технологического производства из-за отказов, механическая прочность строений, электрическая прочность изоляции и т.п.);

экологические (вероятность появления катастрофических и аварийных последствий на опасных производственных объектах).

В процессе хозяйственной деятельности машины и оборудования эксплуатируются и изнашиваются, возникают условия появления отказа в функционировании техники. В связи с этим возникает объективная необходимость оценить риски как вероятность нанесения ущерба хозяйствующему субъекту и окружающей среде.

По мнению Минпромэнерго России, вероятностный метод анализа рисков в настоящее время считается одним из наиболее перспективных для применения в будущем [4,].

Вероятность, превышающего приемлемый риск, может быть определена как произведение вероятностей:

$$P = P_0 \times P_1, \text{ где}$$

P_0 - вероятность возникновения отказа;

P_1 – вероятность возникновения аварии.

Вероятность колеблется от 0 до 1: если вероятность равна 0, то нанести ущерб невозможно, если 1 – ущерб является очевидным.

Кроме того, можно рассчитать интенсивность отказов. Под интенсивностью отказов понимается частное от деления плотности распределения времени безотказной работы $f(t)$ на вероятность безотказной работы $p(t)$ [6].

$$\lambda(t) = f(t) / p(t)$$

При этом плотность распределения времени безотказной работы $f(t)$ может быть определена с использованием формулы:

$$f(t) = \Delta n(t) / (N - \Delta t), \text{ где}$$

$\Delta n(t)$ – число отказавших элементов во времени;

N – общее число эксплуатируемых объектов;

Δt –длина времени.

При поломке технологического оборудования приостанавливается производство продукции, что отрицательно сказывается на финансовые результаты предприятия (продукция выпускается меньше и меньше поступает выручка от продажи продукции). В связи с этим возникает объективная необходимость изучения взаимосвязей факторного признака на результативный показатель. Для выявления этих взаимосвязей используем методы статистического анализа.

Рассмотрим применение методов корреляционно-регрессионного анализа влияния факторного признака x на результативный показатель y .

Имеется следующая информация о сроке полезного использования нестандартного оборудования и затратах на его ремонт (табл.1). Под сроком полезного использования нестандартного оборудования понимается период, в течение которого организация планирует использовать данный объект для получения доходов.

Таблица 1. Данные о срок полезного использования и затратах на ремонт оборудования

Номер оборудования	Срок полезного использования, лет	Затраты на ремонт, тыс.руб.
1	4	89,00
2	5	135,23
3	7	136,98
4	6	134,45
5	9	142,11

В целях определения расходов на ремонт оборудования осуществляется построение математической модели с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

При прямолинейной зависимости между факторным признаком x и результативным показателем y применяется следующее уравнение:

$$y = a_0 + a_1 \times x, \text{ где(1)}$$

a_0, a_1 - параметры уравнения.

Для определения параметров уравнения на основе требований метода наименьших квадратов составляем систему нормальных уравнений.

В основу метода наименьших квадратов положено требование минимальности сумм квадратов отклонений эмпирических данных y_i от выравненных y_{xi} :

$$\sum (y_i - y_{xi})^2 = \min \quad (2)$$

Система нормальных уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x = \sum y \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 = \sum xy \end{cases} \quad (3)$$

Для решения системы нормальных уравнений применяем способ определителей, позволяющий сводить к минимуму неточности округлений в расчетах параметров уравнений регрессии:

$$a_0 = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x}{n \sum x^2 - \sum x \sum x}; \quad (4)$$

$$a_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \sum x}.$$

С целью вычисления параметров уравнений, составим вспомогательную табл. 2.

Таблица 2
Расчет параметров уравнения

№ п/п	y	x	x ²	xy
1	89,00	4	16	356
2	135,23	5	25	676,15
3	136,98	7	49	958,86
4	134,45	6	36	806,7
5	142,11	9	81	1 278,99
Итого	637,77	31	207	4 076,70

По итоговым данным табл. 2 определяем параметры уравнения регрессии (1):

$$a_0 = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x}{n \sum x^2 - \sum x \sum x} = \frac{637,77 \times 207 - 4076,70 \times 31}{5 \times 207 - 31 \times 31} = 76,22.$$

$$a_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \sum x} = \frac{5 \times 4076,70 - 31 \times 637,77}{5 \times 207 - 31 \times 31} = 8,27.$$

Эти параметры уравнения регрессии необходимы для синтезирования математической модели зависимости расходов на ремонт оборудования от срока его полезного использования.

Тогда уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$y = a_0 + a_1 \times x = 76.22 + 8.27x. \quad (5)$$

Для совокупности, у которых $n < 30$, для проверки типичности параметров уравнения регрессии используется t- критерий Стьюдента.

Определяются фактические значения t – критерия:

для параметра a_0

$$t_1 = a_0 = \frac{\sqrt{n-2}}{\sigma} (6)$$

для параметра a_1

$$t_2 = a_1 \frac{\sqrt{n-2}}{\sigma} \sigma_x (7)$$

В формулах 6 и 7

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y - y_{xi})^2}{n}}$ - среднее квадратическое отклонение результативного признака у от выравненных значений y_{xi} (8)

$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$ - среднее квадратическое отклонение факторного признака x от общей средней. (9)

Для определения σ на основе модели уравнения (5) определяются выравненные значения y_{xi} :

$$y_{x1} = 76,22 + 8,27 \times 4 = 43,14;$$

$$y_{x2} = 76,22 + 8,27 \times 5 = 34,87;$$

$$y_{x3} = 76,22 + 8,27 \times 7 = 18,33;$$

$$y_{x4} = 76,22 + 8,27 \times 6 = 26,60;$$

$$y_{x5} = 76,22 + 8,27 \times 9 = 1,79.$$

Для вычисления данных из формул (6, 7) определяются в расчетной табл.3.

Таблица 3. Расчет выравненных значений

№ п/п	y	x	y_x	$y - y_x$	$(y - y_x)^2$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	y^2
-------	---	---	-------	-----------	---------------	---------------	-------------------	-------

1	89,00	4	43,14	45,86	2103,13	- 2,2	4,84	7921
2	135,23	5	34,87	116,90	13665,61	- 1,2	1,44	18287,15
3	136,98	7	18,33	118,65	14077,82	0,8	0,64	18763,52
4	134,45	6	26,60	107,85	11631,62	- 0,2	0,04	18076,80
5	142,11	9	1,79	140,32	19689,70	2,8	7,84	20195,25
Итого	637,77	31	124,73	-	61167,88	-	14,8	83243,72

По формуле (8) определяется среднее квадратическое отклонение результативного признака у от выравненных значений y_{xi} :

$$\sigma = \sqrt{\frac{61167,88}{5} = \sqrt{12233,57}} = 110,60$$

По формуле (6) определяется фактическое значение t – критерия для параметра a_0 :

$$t_1 = \frac{76,22\sqrt{5-2}}{110,60} = 1,19$$

При $\bar{x} = 31: 5 = 6,2$ по формуле (9) определяется среднее квадратическое отклонение факторного признака x от общей средней \bar{x}

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{14,8}{5}} = 1,72$$

По формуле (7) определяется фактическое значение t – критерия для параметра a_1 :

$$t_2 = \frac{8,27\sqrt{5-2}}{5} \times 1,72 = 0,22$$

Сравнение фактических и табличных значений t – критерия позволяет признать вычисленные по уравнению (1) параметры типичными.

Далее произведем оценку тренда с учетом взаимосвязи всех элементов.

Особенностью изучения тренда во времени является то, что в одних рядах динамики основная тенденция проявляется при визуальном анализе исходной информации, в других рядах динамики – тенденция не проявляется.

К наиболее распространенным методам выявления тренда относятся метод укрупнения интервалов и метод аналитического выравнивания.

Метод укрупнения интервалов применяется для выявления тренда в рядах динамики колеблющихся уровней, затухающих основную тенденцию развития. Этот метод является наиболее простым методом. Главное в этом методе заключается в преобразование первоначального ряда динамики в ряды более продолжительных периодов (месячные в квартальные, квартальные в годовые).

Рассмотрим применение метода укрупнения интервалов на данных о сумме потерь из-за отказов технологического оборудования.

Таблица 4.

Динамика о сумме потерь из-за отказов технологического оборудования, тыс.руб.

Отчетный период	Исходные данные
-----------------	-----------------

Январь	3 362
Февраль	3090
Март	2 987
Апрель	3 456
Май	3 321
Июнь	2 850
Июль	3 890
Август	3 900
Сентябрь	4 003
Октябрь	4 100
Ноябрь	3 950
Декабрь	3 800

Действие различных факторов на динамику суммы потерь из-за отказов технологического оборудования затрудняют выводы о тенденции развития, а следовательно сделать достоверный прогноз о сумме потерь в будущем.

Для решения этой задачи месячный ряд динамики укрупняем в квартальный ряд динамики.

Таблица 5.

Динамика о сумме потерь из-за отказов технологического оборудования, тыс.руб.

Отчетный период	Исходные данные
I квартал	9 439
II квартал	9 627
III квартал	11 793
IV квартал	11 850

После укрупнения интервалов основная тенденция роста суммы потерь стала очевидной.

Метод укрупненных интервалов позволяет выявить тренд для сравнительного анализа, но для выполнения прогнозных задач необходимо применить методы более высокого порядка - метод аналитического выравнивания.

Применение метода аналитического выравнивания при прогнозировании вероятности возникновения отказа технологического оборудования покажем на примере.

Пример. По данным динамики суммы потерь из-за отказа технологического оборудования произведем анализ развития тренда[5].

Таблица 6

Расчет вспомогательных показателей для определения тренда

Годы	Сумма потерь из-за отказа оборудования, тыс.руб.	Темп роста по годам, %	Абсолютный прирост по годам, тыс.руб.
1	2	3	4
2011	6390	-	-
2012	7059	110,47	669
2013	7720	109,36	661
2014	7800	101,04	80
2015	8112	104,00	312
В среднем	7416,2	106,22	430,5

Из табл.6 видно, что развитие динамики суммы непроизводительных потерь предприятия происходит с затухающими темпами роста (гр.3) и относительно стабильными абсолютными приростами (гр.4).

Для установления в данном ряду динамики типа развития определяющим признаком является характер изменения абсолютных приростов. Поскольку при среднем абсолютном приросте, равном 430,5 тыс. руб., величина изменений этих приростов незначительна, анализируемый ряд динамики за 2011-2015 годы можно считать с равномерным развитием.

Основная тенденция развития в рядах динамики со стабильными абсолютными приростами определяется уравнением прямолинейной функции. Поэтому для аналитического выравнивания применяется уравнение прямолинейной функции:

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot t,$$

где \bar{y} - средний уровень ряда;

a_0, a_1 - параметры уравнения;

t - время. В качестве показателей времени выступают определенные периоды (годы, кварталы, месяцы, сутки).

Параметр a_1 является коэффициентом регрессии, определяющим направления развития. Если $a_1 > 0$, то уровни ряда динамики равномерно возрастают, а при $a_1 < 0$ происходит их равномерное снижение.

С целью вычисления параметров уравнений, составим вспомогательную табл. 7.

Таблица 7
Расчет параметров уравнения

Годы	Сумма потерь из-за отказа оборудования, тыс.руб.	t	t^2	$t_i y_i$	y_{ii}
1	2	3	4	5	6
2011	6390	1	1	6390	6579,2
2012	7059	2	4	14118	6997,7
2013	7720	3	9	23160	7416,2
2014	7800	4	16	31200	7834,7
2015	8112	5	25	40560	8253,2
Итого	37081	15	55	115428	37081

По итоговым данным табл. 7 определяем по формуле:

$$a_0 = \frac{\sum y \sum t^2 - \sum ty \sum t}{n \sum t^2 - \sum t \sum t} = \frac{37081 \cdot 55 - 115428 \cdot 15}{5 \cdot 55 - 15 \cdot 15} = 6160,7 \text{ тыс.руб.};$$

$$a_1 = \frac{n \sum ty - \sum t \sum y}{n \sum t^2 - \sum t \sum t} = \frac{5 \cdot 115428 - 15 \cdot 37081}{5 \cdot 55 - 15 \cdot 15} = 418,5 \text{ тыс.руб.}$$

По вычисленным параметрам (a_0, a_1) производим синтезирование (построение) трендовой модели функции:

$$\bar{y} = 6160,7 + 418,5 t.$$

При этом параметры примененной в анализе математической функции получают соответствующие количественные значения.

Основное содержание синтезированным (построенным) таким образом модели состоит в том, что она характеризует среднюю величину результативного признака (\bar{y}) в зависимости от времени (t), то есть как изменяется сумма непроизводительных потерь во времени.

Параметр a_1 трендовой модели показывает, что сумма непроизводительных потерь предприятия возрастали в среднем на 418,5 тыс.руб. в год.

На основе синтезированной (построенной) трендовой модели определяются теоретические уровни тренда (y_{t_i}) для каждого года анализируемого ряда динамики:

$$\bar{y}_{t_{2016}} = 6160,7 + 418,5 \cdot 1 = 6579,2 \text{ тыс.руб.};$$

$$\bar{y}_{t_{2017}} = 6160,7 + 418,5 \cdot 2 = 6997,7 \text{ тыс.руб.};$$

$$\bar{y}_{t_{2018}} = 6160,7 + 418,5 \cdot 3 = 7416,2 \text{ тыс.руб.};$$

$$\bar{y}_{t_{2019}} = 6160,7 + 418,5 \cdot 4 = 7834,7 \text{ тыс.руб.};$$

$$\bar{y}_{t_{2020}} = 6160,7 + 418,5 \cdot 5 = 8253,2 \text{ тыс.руб.}$$

Вычисленные теоретические уровни представлены в графе 6 табл. 7.

Правильность расчетов проверяется по равенству:

$$\sum y_i = \sum y_{t_i} = 37081 = 37081.$$

Следует отметить, что иногда невозможно однозначно определить, какому типу развития (равномерное, равнозамедленное, замедление, развитие по экспоненте) больше всего отвечают показатели ряда динамики. В этом случае для подтверждения гипотезы о возможном типе развития тренда можно использовать графический метод. Наглядное изображение анализируемого ряда динамики позволяет получить точное представление о размещении на поле графика эмпирических уровней.

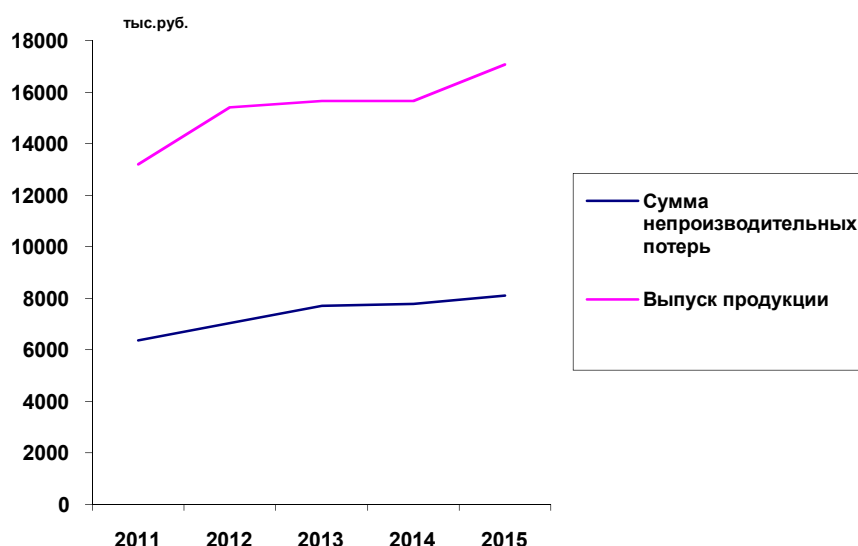


Рис. 1. Развитие тренда суммы потерь из-за отказа оборудования

Проведенный анализ показал, что на предприятии существует «узкое» место в части организации технического обслуживания по наладке технологических процессов и условий эксплуатации оборудования. Из-за этого спрогнозированная сумма потерь предприятия возрастали в среднем на 418,5 тыс.руб. в год.

Таким образом, из анализируемого ряда динамики видно, что при изучении тренда решаются две основные задачи:
выявление тренда в изучаемом ряде динамики по качественным характеристикам;
получение обобщающей количественной оценки тренда.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании». (Система КонсультантПлюс: Российское законодательство (Версия Проф)).
2. Положение о раскрытии информации эмитентами эмиссионных ценных бумаг, утвержденного Банком России 30.12.2014 года N 454-П.
3. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» ТР ТС 010/2011, утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 823.
4. Методические рекомендации по разработке и подготовке к принятию проектов технических регламентов (приказ Минпромэнерго России от 12 апреля 2006 № 78).
5. Земсков В.В. Политика управления рисками на микроуровне. Монография. – М.: ИЭАУ, 2016. – с.114.
6. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. – М.: «Советское радио», 1964, с.367.