



Синчук О. Н.,  
Харитонов А. А.

## К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕНЕЗИСА ЭЛЕКТРОТРАВМ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ И СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

Представлен анализ динамики электротравматизма в железорудной промышленности. Используются данные по распределению электротравм по месяцам года, по дням недели и часам суток и по профессиональным группам рабочих. Описан производственный травматизм в рамках вероятностно-статистических методов используя статистические характеристики и законы распределения отдельных его показателей.

**Ключевые слова:** электротравматизм, генезис, несчастные случаи, динамика электротравм, электробезопасность, железорудные шахты, моделирование.

### 1. Введение

От исследования и оценки безопасности при эксплуатации электротехнических комплексов и систем, наряду с анализом состояний режимов электропотребления, в свою очередь зависит оценка эффективности применения электроэнергии на горных предприятиях.

Следует заметить, что решение проблемы безопасности электропотребления горных предприятий должно решаться в рамках рассмотрения процессов в эрготехнической системе «человек — электроустановка — окружающая среда» [1, 2].

Распределение электротравм (ЭТ) по видам электроустановок показывает, что к числу наиболее травмоопасных относятся: в подземных выработках шахт и рудников — комплекс контактной электровозной откатки (для угольных шахт ЭТ составляет 37 % общего числа НС в подземных выработках; для рудников черной металлургии — 75 % и 31 %).

Этим обосновывается актуальность проведения данных исследований.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В соответствии с методикой исследования электротравматизма горнорабочих в основу оценки безопасности электротехнических комплексов и систем железорудных шахт положим материалы расследования и учета несчастных случаев (НС) [3, 4]. Одним из вопросов, направленных на повышение условий электробезопасности, являются проведенные ранее исследования по установлению первичных критериев электробезопасности [5].

Повышение условий электробезопасности в контактных сетях (КС) связано с признанием их потенциальным источником опасности [6, 7].

Целью проведенных исследований был анализ статистики и законов распределения электротравм на горнорудных предприятиях с подземной добычей полезных ископаемых.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Проанализировать динамику электротравматизма в горной промышленности.
2. Описание производственного травматизма в рамках вероятностно-статистических методов.

### 3. Анализ электротравматизма в электротехнических комплексах и системах железорудных шахт

Специфика электротравматизма на горных работах различных отраслей промышленности и наметившиеся тенденции роста электротравматизма в горнорудной промышленности Украины свидетельствуют о необходимости более тщательного изучения причин его возникновения в шахтах и карьерах горнорудных производств на основе исследования влияния факторов, участвующих в формировании электротравмоопасных ситуаций и негативных влияний на надежность электрооборудования и средства электробезопасности.

Распределение электротравм по видам электроустановок электротехнических комплексов горных предприятий показывает: для предприятий с подземной разработкой наиболее травмоопасны контактные сети электровозной откатки [6].

В связи с вышеизложенным рассмотрим распределение НС по уровню и роду опасного фактора (напряжения), которое приведено в табл. 1.

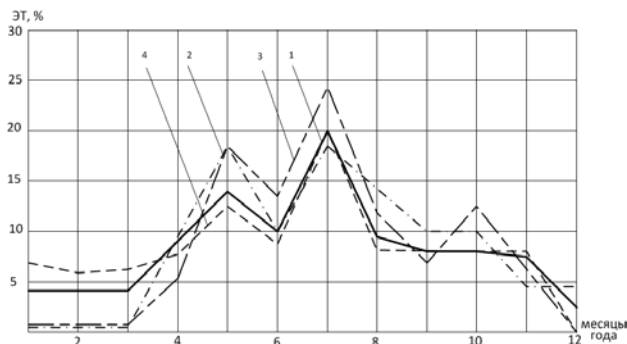
Таблица 1

Распределение несчастных случаев по уровню и роду напряжения, %

Отрасли	Уровень напряжения		Род напряжения	
	До 1000 В	Свыше 1000 В	Переменное 50 Гц	Выпрямленное
Угольная промышленность шахты	<b>76,3</b>	23,7	<b>75,2</b>	24,8
Железорудная промышленность рудники карьеры	<b>85,7</b> 13,8	14,7 86,2	42,9 81,5	<b>57,1</b> 18,5

Структура распределения ЭТ по роду опасного фактора показывает, что на электроустановки с выпрямленным напряжением приходится: от 18,5 до 57,1 % НС, происходящих на шахтах и рудниках (для условий подземных выработок этот показатель еще выше).

Распределение ЭТ по месяцам года, представленное на рис. 1, позволяет говорить о наличии сезонности с максимумом в летние и минимум в зимние месяцы.



**Рис. 1.** Распределение ЭТ по месяцам года на железорудных предприятиях: 1 — отрасль выработки; 2 — шахты в целом; 3 — подземные выработки; 4 — карьеры

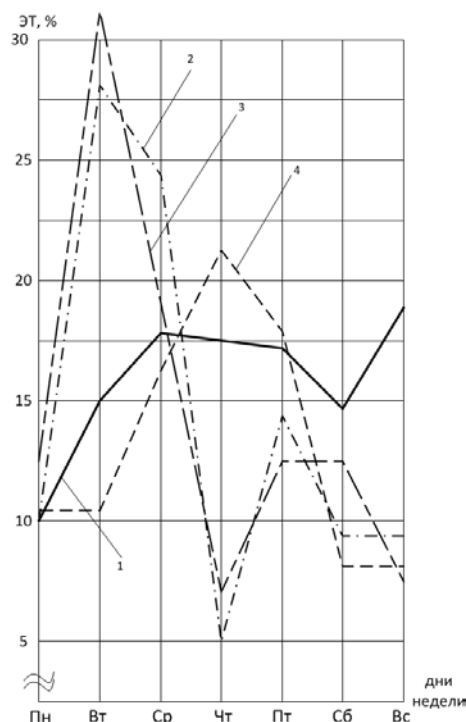
«Летний пик» характеризует ухудшение условий электробезопасности в результате причин организационного (возрастание текучести кадров, большое количество отпусков и, как следствие, снижение квалификационного уровня работников) и электропатологического (снижение работоспособности, усиление утомляемости персонала и т. п. вследствие повышения температуры окружающей среды) характера [8].

Распределение ЭТ по профессиональным группам характеризуется весомым процентом поражения неэлектротехнического персонала при подземной разработке полезных ископаемых в железорудных шахтах, а именно 47,3 %.

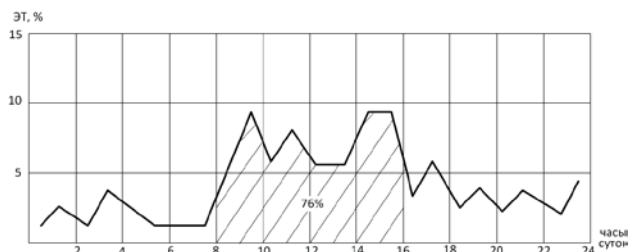
Анализ данных показывает, что структура профессий пострадавших различна для подземного электротехнического комплекса и электротехнических комплексов поверхностей железорудных шахт. В условиях подземных выработок значительное число случаев электропоражений приходится на работников неэлектротехнических профессий. В качестве одной из причин для условий подземных выработок, объясняющей это обстоятельство, выступает высокая вероятность соприкосновения в процессе работы с электроустановками лиц, не имеющих достаточных основ знаний техники электробезопасности. Так, большинство случаев поражений проходчиков и почти все случаи электротравм крепильщиков произошли при недооценке опасности работ вблизи неотключенного или плохо изолированного контактного провода электровозной откатки [9].

Изменение динамики ЭТ по дням недели и часам суток, приведенная на рис. 2 и 3, свидетельствует о неравномерности их распределения.

Следует особо отметить большое число поражений в воскресенье. Очевидно, что большие объемы монтажно-наладочных работ, выполняемые в этот день в условиях дефицита времени и высокой интенсивности труда, требуют лучшей организации, усиленного надзора со стороны инженерно-технического персонала.



**Рис. 2.** Распределение ЭТ по дням недели на железорудных предприятиях: 1 — отрасль выработки; 2 — шахты (рудники); 3 — подземные выработки; 4 — карьеры



**Рис. 3.** Распределение ЭТ по часам суток на железорудных предприятиях: 1 — отрасль выработки; 2 — шахты в целом; 3 — подземные выработки; 4 — карьеры

В течение суток распределение числа ЭТ характеризуется значительным ростом количества несчастных случаев в дневные часы (с 8 до 17 ч). В этот период происходит 67 % НС на железорудных шахтах. Это обусловлено увеличением числа работающих в это время, большим объемом работ в электроустановках и коммутаций электрических цепей.

Причиной ЭТ в электротехнических комплексах горных предприятий, обусловленных возникновением цепи через пострадавшего [10, 11], в 75 % случаев служит контактная сеть электровозной откатки.

Большинство электротравм на шахтах, рудниках произошло в результате непосредственного соприкосновения пострадавших с токоведущими частями, находящимися под напряжением. Если не учитывать электротравм в контактных сетях, которые в плане защищенности от прикосновений персонала негативно отличаются от других подземных электроустановок, то на долю поражений по причине прикосновения к токоведущим частям приходится от 25 до 43 % общего числа несчастных случаев в подземных выработках. Для поверхностных электротехнических комплексов шахт (рудников) этот

показатель составляет от 80 до 100 %, для карьеров — от 83 до 92 %.

Значительный удельный вес имеют электротравмы, происходящие при работе под напряжением и в результате ошибочной подачи напряжения во время производства работ. Электротравмы по этим причинам составляют: для поверхности шахт (рудников) — от 26 до 40 %, для карьеров — 45,6 %.

Значительное число ЭТ на горных предприятиях с подземным способом добычи полезных ископаемых, а именно до 83 % характеризуется причинами, в основе которых лежит снижение защитных свойств изоляции, что говорит о недостаточном профилактическом контроле состояния изоляции электроустановок.

Для разработки управляющих решений в вопросах безопасного применения электроэнергии на горных предприятиях необходимо описание производственного травматизма в рамках вероятностно-статистических методов. Также требуется оценка статистических характеристик и законов распределения отдельных его показателей.

Моделирование процессов в системе обеспечения электробезопасности, технико-экономическая оценка последствий от ЭТ требуют знания статистических характеристик таких случайных величин как возраст и стаж пострадавших. В качестве статистик принимаем следующие данные: математическое ожидание  $T_{\text{возр}}$ , дисперсия  $D$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , коэффициент вариации  $\nu$ , асимметрия  $A$ , эксцесс  $E$ .

Статистические характеристики возраста пострадавших в электроустановках предприятий отраслей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические характеристики возраста пострадавших в железорудной промышленности

Предприятие, отрасль	Статистические характеристики					
	$T_{\text{возр}}$ , лет	$D_{\text{лет}}^2$	$\sigma_{\text{лет}}$	$\nu$	$A$	$E$
Подземные выработки рудников	33,9	43,5	6,59	0,19	0,49	-0,86
Поверхностные комплексы рудников, обогатительные фабрики	35,9	82,8	9,1	0,25	-0,32	-1,18
Карьеры	32,1	64,1	8,01	0,25	0,20	-0,87
Отрасль	33,5	68,5	8,28	0,24	0,14	-0,88

Анализ статистик и экспериментальных законов распределения возраста пострадавших показывает, что отдельные значения достаточно хорошо концентрируются вокруг средних значений с коэффициентом вариации, не превышающим в основном 30 %. Распределения возраста пострадавших имеют за редким исключением незначительную положительную асимметрию и отрицательный эксцесс. С учетом этого можно выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения возраста пострадавших [12].

Для выборок возраста пострадавших, характеризующих отрасли в целом, с помощью критерия Пирсона с вероятностью 0,95 была подтверждена возможность принятия выдвинутой гипотезы о нормальном распределении. Для выборок возраста пострадавших в условиях подземных выработок, поверхностного комплекса, разрезов (карьеров) с помощью критерия Колмогорова при

уровне значимости 0,05 была подтверждена гипотеза об их принадлежности к одной статистической нормальной совокупности (к которой относится «отраслевая» выборка) [13]. Значения наблюдаемых и критических значений критериев позволяют принять выдвинутую гипотезу.

Таким образом, законы распределения возраста пострадавших будут иметь вид:

$$P(T_{\text{возр}}) = (\sigma_0 \sqrt{2\pi})^{-1} \exp \left[ -\frac{(T_{\text{возр}} - \overline{T_{\text{возр}}})^2}{2\sigma_0^2} \right], \quad (1)$$

где  $T_{\text{возр}}$ ,  $\sigma_0$  — параметры нормального распределения.

Экспериментальные распределения, имеются в виде дифференциальные и интегральные, возраста пострадавших в виде гистограмм и кривых накопленных частостей приведены на рис. 4.

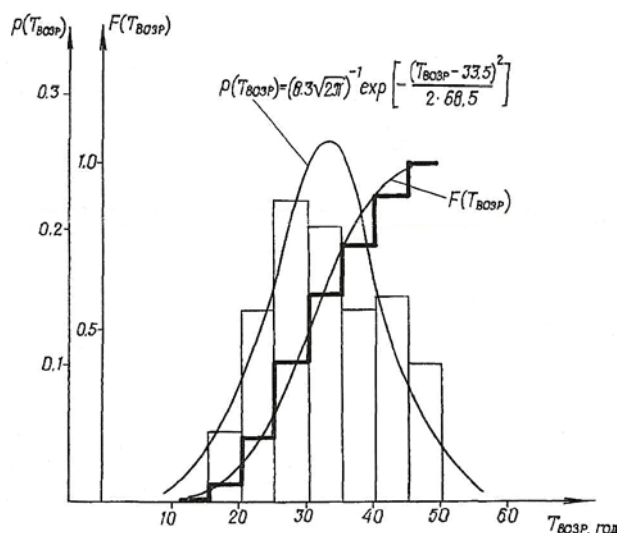


Рис. 4. Статистические законы распределения возраста пострадавших в электроустановках железорудных предприятий

Анализ статистики и законов распределения возраста пострадавших показывает, что средний возраст пострадавших для предприятий разных отраслей составляет от 30 до 36 лет. Интересующая нас вероятность поражения в возрасте от 25 до 40 лет составляет для железорудных шахт — 0,72.

Стаж работы пострадавших является случайной величиной, описание которой целесообразно отразить в рамках вероятностного подхода.

В качестве статистических характеристик стажа пострадавших как случайных величин используем: математическое ожидание  $T_{\text{ст}}$ , дисперсия  $D$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , коэффициент вариации  $\nu$ , асимметрия  $A$ , эксцесс  $E$ , которые приведены в табл. 3.

Экспериментальные распределения стажа пострадавших в виде кривых накопленных частостей и гистограмм приведены на рис. 5.

Анализ статистик и экспериментальных законов распределения стажа пострадавших показывает значительный разброс отдельных значений случайной величины относительно средних. Коэффициент вариации имеет значения, значительно превышающие значения, характерные для нормального закона.

Таблица 3

Статистические характеристики стажа пострадавших в горнорудной промышленности (черная металлургия)

Предприятие, отрасль	Статистические характеристики					
	$T_{ст}$ , лет	$D_{лет}^2$	$\sigma_{лет}$	$\nu$	$A$	$E$
Подземные выработки рудников	5,31	35,8,5	5,98	1,12	1,04	-0,39
Поверхностные комплексы рудников, обогатительные фабрики	7,03	34,6	5,83	0,84	0,74	-0,39
Карьеры	6,58	39,6	6,29	0,96	1,16	0,77
Отрасль	6,45	37,5	6,13	0,95	1,06	0,45

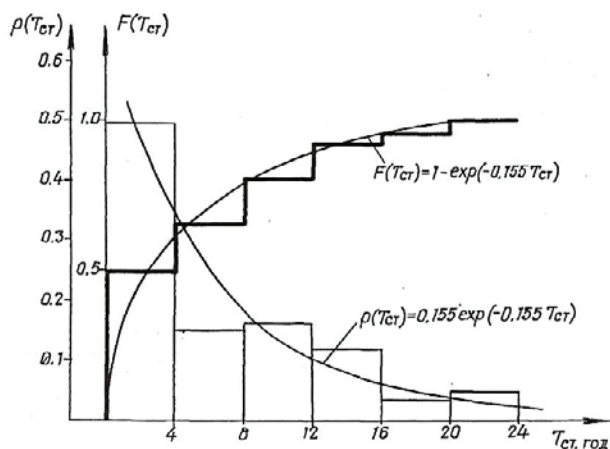


Рис. 5. Статистические законы распределения стажа работы пострадавших в электроустановках железорудных предприятий

Вышеизложенное, а также вид гистограмм позволяет выдвинуть гипотезу об экспоненциальном распределении стажа пострадавших. Проверка выдвинутой гипотезы с помощью критерия Пирсона подтвердила возможность ее принятия с вероятностью 0,95 для выборок, характеризующих отрасли в целом. Проверка гипотезы о принадлежности выборок стажа пострадавших для условий подземных выработок железорудных шахт к одной статистической совокупности, к которой относится «отраслевая» выборка, с помощью критерия Колмогорова позволила ее принять при уровне значимости 0,05.

Таким образом, законы распределения стажа пострадавших имеют вид:

$$P(T_{ст}) = \lambda \exp(-\lambda T_{ст}), \quad (2)$$

где  $\lambda$  — параметр экспоненциального закона, определяется как обратное значение величины среднего стажа пострадавших  $T_{ст}$ .

#### 4. Выводы

1. Одной из основных потенциальных причин, обуславливающих возникновение электротравм является неисправное состояние электроустановок. Исследования в этом направлении будут основой разработки комплексов профилактических мероприятий, направленных на эффективное снижение электротравматизма.

2. Структура распределения электротравм по уровню напряжения показывает, что в условиях подземных

выработок основное внимание надо уделить мероприятиям по снижению электротравматизма в электроустановках напряжением до 1000 В, особенно в контактных сетях электровозной откатки.

3. Распределение электротравматизма по дням недели и часам суток показывает на необходимость особенно тщательного соблюдения требований безопасности в указанные травмоопасные периоды.

4. Указанные обстоятельства еще раз доказывают, что вопросы повышения надежности функционирования различных групп персонала как энергетического элемента системы обеспечения электробезопасности являются остроактуальными.

5. Электротравматизм лиц со стажем до 10 лет составляют от 65 до 75 % несчастных случаев, а средний стаж пострадавших для предприятий различных отраслей составляет от трех с половиной до семи с половиной лет.

6. Выполненный анализ позволяет перейти к моделированию процесса происхождения электротравм.

#### Литература

- International Electrotechnical Commission. IEC Report Publication 60479-1 [Electronic resource] / Effect of current on human beings and livestock. Part 1. General aspects. — Ed. 3. — 1994. — Available at: \www/ URL: [http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/ArtNum\\_PK/19065?openDocument](http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/ArtNum_PK/19065?openDocument). — 06.03.2014
- Ляхомский, А. В. Физиологическая характеристика горнорабочих железорудных шахт как элемента эргодической системы обеспечения электробезопасности [Текст] / А. В. Ляхомский, О. Н. Синчук, А. А. Харитонов // Вестник Криворожского национального университета. — 2013. — № 35. — С. 152–156.
- Електрифікація гірничого виробництва [Текст] : підручник для ВНЗ / за ред. Л. О. Пучкова, Г. Г. Півняка. — Вид. 2-ге, перероб. та допов. — Д.: Нац. гірн. ун-т, 2010. — Т. 1. — 503 с.
- Цапенко, Е. Ф. Электробезопасность на горных предприятиях [Текст] / Е. Ф. Цапенко, С. З. Шкудин. — М.: МГТУ, 2008. — 103 с.
- Синчук, О. Н. К вопросу оценки первичных критериев электробезопасности при эксплуатации тяговых контактных сетей железорудных шахт [Текст] / О. Н. Синчук, А. А. Харитонов // Вестник КрНУ. — 2013. — № 82. — С. 48–53.
- Синчук, И. О. Тяговая контактная сеть железорудных шахт — потенциальный источник поражения горнорабочих электрическим током [Текст] / И. О. Синчук // Горный вестник. — 2013. — № 96. — С. 288–290.
- Kieback, D. Methoden der Erfassung und Auswertung von Arbeitsunfällen in der Bundesrepublik Deutschland [Text] / D. Kieback // Bull.ASE/UCS. — 1983. — Vol. 74. — P. 658–661.
- Mason, K. A. System to list employers with poor accident experience [Text] / K. A. Mason. — Vancouver: Workers Compensation Bored, 1989. — P. 36.
- Синчук, О. Н. Электробезопасность рудничной откатки [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, А. Г. Ликаренко, А. Г. Животовский. — К.: Техника, 2009. — 188 с.
- International Electrotechnical Commission. IEC Report Publication 60479-2 [Electronic resource] / Effects of current passing through the human body. Part 2. Special aspects. — Ed. 2. — 1987. — Available at: \www/ URL: [http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/ArtNum\\_PK/19066?openDocument](http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/ArtNum_PK/19066?openDocument). — 06.03.2014
- Dudeh, W. Sieci trakcyjne wgornichue [Text] / W. Dudeh, I. Machowski. — Katowice, Slask, 1997. — P. 234.
- Trohler, R. Zuverlässigkeit und Sicherheit im Arbeitsschutz [Text] / Schweiz Bf.fur Arbeitssicherheit. — 1993. — № 112. — P. 96.
- Experimentelle Untersuchgen zur personlechtskeits — bedingte Unfallgefahrung [Text] / Dissertation Philosophischen Fakultat der Philipps Universität. — Bremen, 1984. — P. 252–279.

### ЩОДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕЗИСУ ЕЛЕКТРОТРАВМ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ І СИСТЕМАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

Представлено аналіз динаміки електротравматизму в залізорудній промисловості. Використано дані щодо розподілу електротравм по місяцям року, по дням тижня, годинам доби та по професійних групах робітників. Описано виробничий травматизм у рамках ймовірно-статистичних методів, використовуючи статистичні характеристики й закони розподілу окремих його показників.

**Ключові слова:** електротравматизм, генезис, нещасні випадки, динаміка електротравм, електробезпечність, залізорудні шахти, моделювання.

*Сінчук Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электро-механических систем в промышленности и на транспорте,*

*ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: speet@ukr.net.*

*Харитонов Александр Александрович, старший преподаватель, кафедра электроснабжения и энергетического менеджмента, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, e-mail: Ckariton@i.ua.*

*Сінчук Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та на транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Харитонов Олександр Олександрович, старший викладач, кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна.*

*Sinchuk Oleg, SHEI «Krivyi Rih National University», Ukraine, e-mail: speet@ukr.net.*

*Kharitonov Aleksandr, SHEI «Krivyi Rih National University», Ukraine, e-mail: Ckariton@i.ua*

УДК 658.562

Любимова Н. А.

## ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Рассмотрена вероятностная модель получения ожидаемой при контроле выбросов информации о превышении допустимых норм в случайном процессе загрязнения. Получено математическое выражение для расчета количества ожидаемой информации, как логарифмической функции интенсивности потока выбросов, времени наблюдения, рисков контроля первого и второго рода, а также, параметра нестационарности процесса загрязнения.*

**Ключевые слова:** контроль, анализ, выбросы тепловых электростанций.

### 1. Введение

При производстве промышленной продукции крупными энергоемкими предприятиями, в том числе при выработке электроэнергии тепловыми электростанциями, генерируются отходы, загрязняющие окружающую среду. Эти отходы поступают в литосферу, атмосферу и гидросферу, вызывая их деградацию и угрожая выживанию человека и биосферы в целом. В настоящее время процессы загрязнения подвергают контролю и учету. Необходимым условием для природопользователей есть выполнение законодательных норм (ПДВ, ПДС, ...). Необходимо совершенствовать методы и улучшать качество контроля загрязнений отходами промышленных предприятий. Эти процессы — элементы технологической цепи, стабильность и точность функционирования которой определяют стационарность и статическую предсказуемость появления таких нежелательных случайных событий, как экстремальные превышения норм в виде выбросов и сбросов. Последовательность таких событий, рассматриваемая во времени наблюдения, образует поток событий, особенностью которого является случайность моментов времени, соответствующих превышениям указанных норм. Теория информации нашла широкое применение в технике связи, измерения, управления, в системах получения, обработки и передачи информационных сигналов. Использование классической теории

информации в измерительной технике позволило развить и поднять на высокий уровень информационную теорию измерений. Особенно это научное направление актуально в наши дни в области экологического контроля выбросов тепловых электростанций при выполнении, например, мониторинга атмосферы.

### 2. Постановка проблемы

Планирование контроля потоков выбросов (сбросов) должно учитывать не только объемы выборок результатов измерения и порядок их проведения. Главное при этом — выбор правила принятия решения на основе критерия, обеспечивающего заданную достоверность контроля, и гарантирующего минимизацию тех его рисков, которые определяют уровень экономических потерь при появлении экологических нарушений.

Математические модели такой теории, базирующиеся на количественных преобразованиях измерительных сигналов, в настоящее время нуждаются в проработке. Информационная теория контроля, где информационные преобразования носят качественный характер — практически не создана. Для разработки планов контроля загрязнений необходимо решить ряд задач: определить условия измерений, параметры вероятностных моделей объекта контроля и показатели его эффективности, максимизирующие количество получаемой информации,