

УДК 614.8.084

Л.А. Шевченко, А.Н. Поздняков

**АЛГОРИМТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ОХРАНОЙ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
НА ПРИМЕРЕ ОАО «ЮЖНО-КУЗБАССКАЯ ГРЭС»**

Объектом исследования является процесс управления природно-техногенной безопасностью в масштабе тепловой электростанции и методический аппарат поддержки принимаемых решений на указанном уровне управления. Предмет исследования – системы управления охраной труда и промышленной безопасностью (СУОТ и ПБ) на примере ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» (ОАО «ЮК ГРЭС»).

Под вариантом сценария возникновения несчастных случаев, аварий, инцидентов и экологических нарушений будем понимать различное сочетание причин, места, времени и масштаба указанных событий, а под вариантом сценария протекания несчастных случаев, аварий, инцидентов и экологических нарушений – диапазоны возможных значений вероятности появления пострадавших, человеческих жертв и материального ущерба. В соответствии с наборами вариантов сценариев возникновения и протекания несчастных случаев, аварий, инцидентов и экологических нарушений необходимо разрабатывать набор вариантов предупредительных мероприятий и набор вариантов их ликвидации. Под вариантом предупредительных мероприятий будем понимать совокупность времени, места, видов мер предупреждения, сил и средств и всех видов обеспечения их действий. Под вариантом ликвидации несчастных случаев, аварий, инцидентов и экологических нарушений будем понимать совокупность времени, места, видов мероприятий ликвидации, а также сил и средств, всех видов обеспечения их действий.

Допущения и предпосылки: объем ресурсов всех видов ограничен и отражается через объем финансирования СУОТ и ПБ, зависимость комплексного риска для персонала и населения, проживающего на территории, попадающей в результате аварии в зону поражения, от объема финансирования СУОТ и ПБ представляет собой гиперболическую функцию, асимптотически стремящуюся к нулю.

Блок-схема алгоритма методики оценки эффективности СУОТ и ПБ на химически опасных производственных объектах электроэнергетики представлена на рис. 1.

Проведем описание блок-схемы алгоритма методики:

- 1) создание базы данных об авариях, инцидентах, несчастных случаях и экологическом ущербе в ОАО «ЮК ГРЭС» за последние 10 лет, а также

на аналогичных энергообъектах. Данные по травматизму и повреждаемости оборудования в ОАО «ЮК ГРЭС» представлены в [1-2];

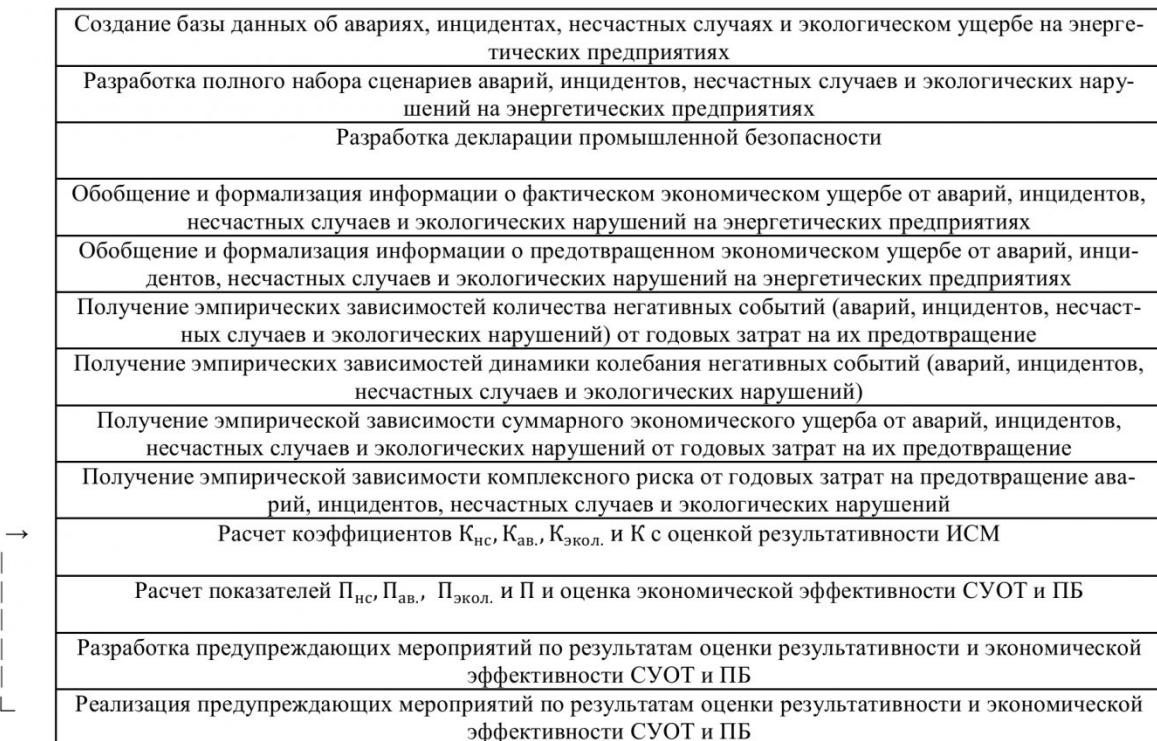
- 2) разработка полного набора сценариев аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений в ОАО «ЮК ГРЭС», а также сценариев действий СУОТ и ПБ по их предупреждению и ликвидации. Полный набор сценариев аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений разрабатывается на основании имеющейся статистики, индивидуальных особенностей и технологии производства тепловой и электрической энергии. Конкретные наиболее опасные сценарии возникновения аварий в ОАО «ЮК ГРЭС» представлены в [3];

- 3) разработка декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО) ОАО «ЮК ГРЭС». Оформление указанной декларации включает: всестороннюю оценку риска аварий и связанных с ней угроз; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, обеспечению готовности организации к эксплуатации ОПО в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на ОПО; разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на ОПО;

- 4) обобщение и формализация информации о фактическом экономическом ущербе от аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений из имеющейся базы данных в табличном и (или) графическом виде [1-2];

- 5) обобщение и формализация информации о предотвращенном экономическом ущербе от аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений из декларации промышленной безопасности ОПО ОАО «ЮК ГРЭС». Проведение ретроспективного (за прошедшие периоды времени) и перспективного (за будущие периоды времени) перерасчета предотвращенного экономического ущерба в табличном и (или) графическом виде с учетом среднего процента износа оборудования [3];

- 6) проведение линейного и (или) нелинейного регрессионного анализа для получения эмпирических зависимостей количества негативных событий (аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений) от годовых затрат на их предотвращение.



*Рис. 1. – Блок-схема алгоритма методики оценки эффективности СУОТ и ПБ на химически опасных производственных объектах электроэнергетики*

В целях оптимизации затрат на мероприятия по охране труда в ОАО «ЮК ГРЭС» по годовым данным за 2000-2010 гг. [1] выполним линеаризующие преобразования и методом наименьших квадратов [4] получим эмпирическую зависимость количества несчастных случаев  $N_{nc}$  в ОАО «ЮК ГРЭС» от суммарных затрат на мероприятия по охране труда за год  $Z_{om}$ , в млн. руб., которая имеет вид:

$$N_{hc} = 0,985 + 4,31/3_{om}, \quad (1)$$

Коэффициент парной корреляции  $r_{yx} = 0,676$ , коэффициент детерминации  $d_{yx} = 45,7\%$ .

Проверку выполняем сравнением расчётного значения  $r_{yx}$  с табличным при выбранном уровне значимости  $\alpha$  [4]. В нашем случае расчетное значение  $2,14 > r_{\text{табл. } 0,05;10} = 0,576$ . Значимость коэффициента парной корреляции  $r_{yx}$  оцениваем также с помощью  $t$ -критерия Стьюдента [4]. В нашем случае расчетное значение  $2,750 > t_{\text{табл. } 0,05;9} = 2,26$ . Таким образом, гипотеза о статистической значимости выборочного коэффициента корреляции  $r_{yx}$  подтверждается. Зависимость (1) представлена на рисунке 2.

Указанная зависимость позволяет решать задачу определения годового уровня финансирования мероприятий по охране труда в ОАО «ЮК ГРЭС», исходя из допустимого уровня травматизма. Формула (1) также решает обратную задачу: в зависимости от годового уровня финансирования мероприятий по охране труда определить прогнозируемый уровень травматизма.

В целях оптимизации затрат на мероприятия

по предотвращению аварий и инцидентов в ОАО «ЮК ГРЭС» по годовым данным за 2000-2010 гг. [2] выполним линеаризующие преобразования и методом наименьших квадратов [4] получим эмпирическую зависимость количества инцидентов  $N_{\text{инц.}}$  от суммарных затрат на мероприятия по предотвращению аварий и инцидентов за год  $Z_{\text{ав.}}$ , в млн. руб., которая имеет вид:

$$N_{\text{ши.}} = 3_{ae}/(0,113 \cdot 3_{ae} - 19,04), \quad (2)$$

Коэффициент парной корреляции  $r_{yx} = 0,900$ , коэффициент детерминации  $d_{yx} = 81,0\%$ . Проверку выполняем сравнением расчётного значения  $r_{yx}$  с табличным при выбранном уровне значимости  $\alpha$  [4]. В нашем случае расчетное значение  $2,85 > r_{\text{табл. } 0,05;10} = 0,576$ . Значимость коэффициента парной корреляции  $r_{yx}$  оцениваем также с помощью  $t$ -критерия Стьюдента [4]. В нашем случае расчетное значение  $6,19 > t_{\text{табл. } 0,05;9} = 2,26$ . Таким образом, гипотеза о статистической значимости выборочного коэффициента корреляции  $r_{yx}$  подтверждается. Зависимость (2) представлена на рис.3.

Указанная зависимость позволяет решать задачу определения годового уровня финансирования мероприятий по предотвращению аварий и инцидентов в ОАО «ЮК ГРЭС», исходя из допустимого уровня повреждаемости оборудования. Формула (2) также решает обратную задачу: в зависимости от годового уровня финансирования мероприятия по предотвращению аварий и инцидентов определить прогнозируемый уровень по-

вреждаемости оборудования.

7) проведение линейного и (или) нелинейного регрессионного анализа для получения эмпирических зависимостей динамики колебания негативных событий (аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений) за календарные годы в целях прогнозирования результативности и экономической эффективности СУОТ и ПБ в будущих периодах.

В целях перспективного планирования и оценки уровня травматизма в ОАО «ЮК ГРЭС» в

вид:

$$N_{\text{инц.}} = 3,817 * 10^6 - 3810,8T + 0,951T^2, \quad (4)$$

Корреляционное отношение  $\eta = 0,913$ , индекс детерминации  $d = 83,3\%$ , что позволяет сделать вывод о наличии значительной функциональной связи зависимости (4). Зависимость (4) представлена на рис. 5 с интерполяцией до 2015 г.

8) проведение линейного и (или) нелинейного регрессионного анализа для получения эмпирической зависимости суммарного экономического ущерба от аварий, инцидентов, несчастных случа-

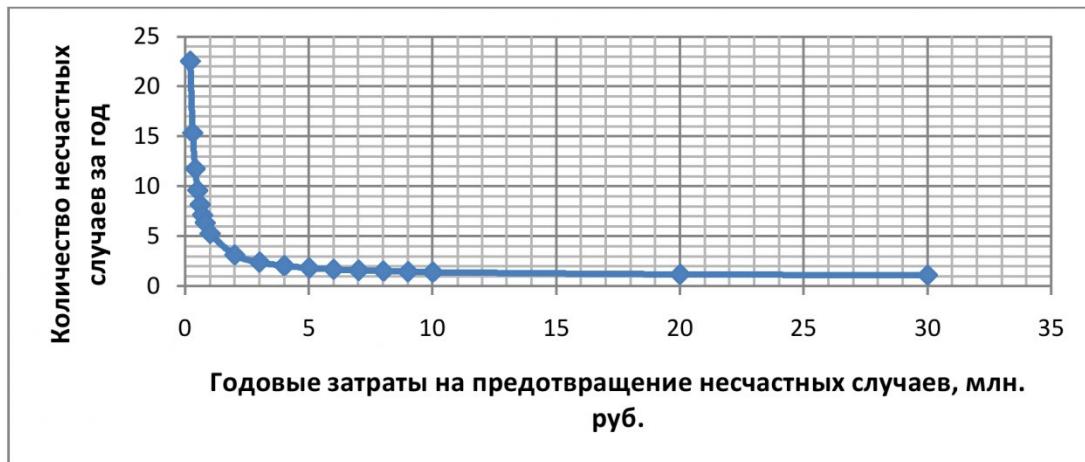


Рис. 2. Эмпирическая зависимость числа несчастных случаев  $N_{\text{nc}}$  от  $Z_{\text{от}}$ , в млн. руб. в ОАО «ЮК ГРЭС»



Рис. 3. Эмпирическая зависимость количества инцидентов  $N_{\text{инц.}}$  от  $Z_{\text{ав.}}$ , в млн. руб. в ОАО «ЮК ГРЭС».

будущих периодах методом нелинейной корреляции [4] получена динамика колебания несчастных случаев  $N_{\text{nc}}$  в зависимости от текущего года (2000 г.  $\leq T \leq 2010$  г.), которая имеет вид:

$$N_{\text{nc}} = 492249,6 - 490,9T + 0,1224T^2, \quad (3)$$

Корреляционное отношение  $\eta = 0,894$ , индекс детерминации  $d = 79,9\%$ , что позволяет сделать вывод о наличии значительной функциональной связи зависимости (3). Зависимость (3) представлена на рис. 4 с интерполяцией до 2015 г.

В целях перспективного планирования и оценки уровня повреждаемости оборудования в ОАО «ЮК ГРЭС» в будущих периодах методом нелинейной корреляции [4] получена динамика колебания инцидентов  $N_{\text{инц.}}$  в зависимости от текущего года (2000 г.  $\leq T \leq 2010$  г.), которая имеет

ев и экологических нарушений от годовых затрат на их предотвращение.

В целях оптимизации экономического ущерба от несчастных случаев, аварий и инцидентов в ОАО «ЮК ГРЭС» по годовым данным за 2000-2010 гг. [1-2] выполним линеаризующие преобразования и методом наименьших квадратов [4] получим эмпирическую зависимость суммарного фактического ущерба от аварий, инцидентов, несчастных случаев  $Y_{\Sigma \text{ факт.}}$  от суммарных затрат на мероприятие по предотвращению аварий, инцидентов, несчастных случаев  $Z_{\Sigma}$ , в млн. руб., которая имеет вид:

$$Y_{\Sigma \text{ факт.}} = Z_{\Sigma} / (0,845 * Z_{\Sigma} - 194,5), \quad (5)$$

Коэффициент парной корреляции  $r_{yx} = 0,791$ , коэффициент детерминации  $d_{yx} = 62,6\%$ . Про-

верку выполняем сравнением расчётного значения  $r_{yx}$  с табличным при выбранном уровне значимости  $\alpha$  [4]. В нашем случае расчетное значение  $2,50 > r_{\text{табл. } 0,05;10} = 0,576$ . Значимость коэффициента парной корреляции  $r_{yx}$  оцениваем также с помощью  $t$ -критерия Стьюдента [4]. В нашем случае расчетное значение  $3,88 > t_{\text{табл. } 0,05;9} = 2,26$ . Таким образом, гипотеза о статистической значимости выборочного коэффициента корреляции  $r_{yx}$  подтверждается. Зависимость (5) представлена на рис. 6.

Указанная зависимость позволяет решать задачу определения годового уровня финансирования мероприятий по предотвращению несчастных случаев, аварий и инцидентов в ОАО «ЮК ГРЭС», исходя из допустимого уровня экономиче-

плексного коэффициента предотвращения аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологического ущерба ( $K$ ) (по формуле (4), приведенной в [5]).

11) расчет показателей экономической эффективности СУОТ и ПБ по предотвращению: несчастных случаев ( $\Pi_{hc}$ ), аварий и инцидентов ( $\Pi_{ab}$ ), экологического ущерба ( $\Pi_{\text{экол.}}$ ) (по формулам (8), (9), (10), приведенным в [5]). Расчет комплексного показателя экономической эффективности СУОТ и ПБ по предотвращению аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологического ущерба ( $\Pi$ ) (по формуле (11), приведенной в [5]).

12) разработка предупреждающих мероприятий по результатам оценки результативности и экономической эффективности СУОТ и ПБ;

13) реализация предупреждающих мероприя-

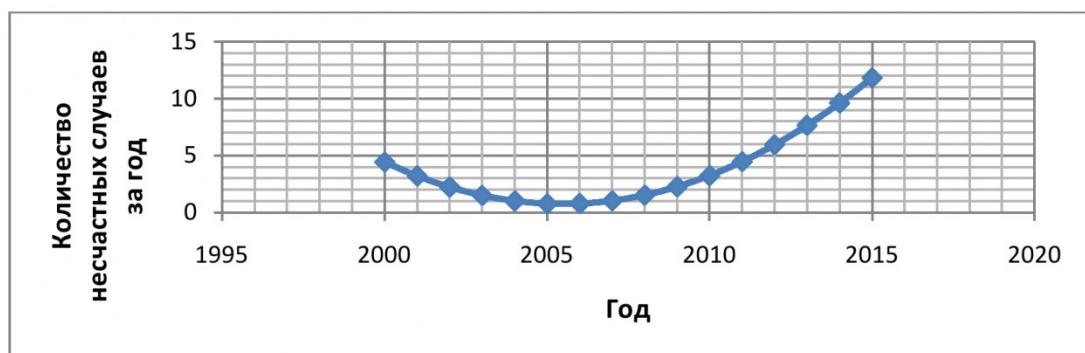


Рис. 4. – Эмпирическая зависимость динамики колебания  $N_{hc}$  от текущего года в ОАО «ЮК ГРЭС»

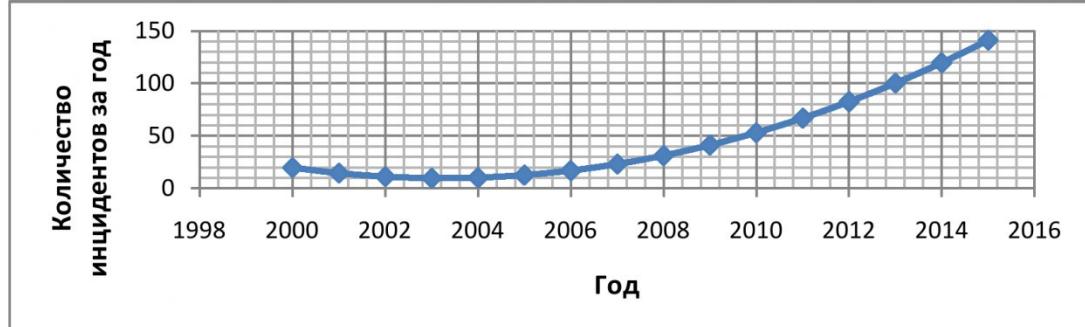


Рис. 5. Эмпирическая зависимость динамики колебания  $N_{\text{ини.}}$  от текущего года в ОАО «ЮК ГРЭС»

ского ущерба. Формула (5) также решает обратную задачу: в зависимости от годового уровня финансирования мероприятий по предотвращению несчастных случаев, аварий и инцидентов определить прогнозируемый уровень экономического ущерба.

9) проведение линейного и (или) нелинейного регрессионного анализа для получения эмпирической зависимости комплексного риска от годовых затрат на предотвращение аварий, инцидентов, несчастных случаев и экологических нарушений в целях количественной оценки и нормирования риска;

10) расчет коэффициентов предотвращения: несчастных случаев ( $K_{hc}$ ), аварий и инцидентов ( $K_{ab}$ ), экологического ущерба ( $K_{\text{экол.}}$ ) (по формулам (1), (2), (3), приведенным в [5]). Расчет ком-

пьютером с последующей оценкой их результативности и экономической эффективности СУОТ и ПБ.

В целях планирования предупреждающих мероприятий на энергетическом предприятии необходимо ежегодно разрабатывать программу, направленную на снижение уровня травматизма, повреждаемости оборудования и экологического ущерба. Для формирования мероприятий программы предлагается следующая методика:

1) установление допустимого уровня травматизма (несчастные случаи), аварийности (аварии и инциденты) и экологического ущерба в планируемом периоде времени;

2) установление уровня выделенных затрат на мероприятия по предотвращению аварийности и травматизма  $Z_B$  по формулам (1.), (2.) и рис. 2 , 3 , исходя из допустимого уровня травматизма и ава-

рийности в планируемом периоде времени;

3) установление прогнозируемого уровня экономического ущерба по формуле (5.) и рис. 6., исходя из уровня выделенных затрат  $Z_B$  в планируемом периоде времени;

4) определение доли выделяемых ресурсов  $D_{BP_i}$  по каждому структурному подразделению энергетического предприятия в планируемом периоде времени по формуле:

$$D_{BP_i} = Y_{\Sigma \text{факт. } i} / \sum_{i=1}^n Y_{\Sigma \text{факт. } i}, \quad (6)$$

где  $Y_{\Sigma \text{факт. } i}$  - фактический экономический ущерб за прошедший период (периоды) времени по  $i$ -му структурному подразделению энергетического предприятия;  $n$  - количество структурных подразделений.

5) определение доли затрат, выделяемых по каждому структурному подразделению энергетического предприятия в планируемом периоде времени  $Z_{Bi}$  по формуле:

$$Z_{Bi} = D_{BP_i} * Z_B, \quad (7)$$

6) предварительный выбор мероприятий, направленных на превентивное предупреждение аварийности, травматизма и экологических нарушений в структурных подразделениях по критерию «затраты – предотвращенный ущерб», используя следующие приемы риск-менеджмента:

- а) перевод риска на страховую компанию;
- б) перевод фактора, порождающего данный риск, на третью сторону;
- в) снижение вероятности наступления неблагоприятного события;
- г) снижение величины потерь, связанных с неблагоприятными событиями;
- д) абсолютный запрет на деятельность, которая порождает риск.

С учетом того, что предупреждающие мероприятия планируются для будущих периодов и конкретная организация, которая будет реализовывать каждое намеченное мероприятие, определяется позднее, после проведения конкурсных процедур, предлагается для использования методика

принятия решений в условиях полной неопределенности [6]. У ряда потенциальных поставщиков запрашиваются технико-коммерческие предложения и строится матрица эффективности (таблица).

Матрица эффективности

Управля- емые факторы	Неуправляемые фак- торы				$\min_j e_{ij}$	$\max_j e_{ij}$
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$		
$P_1$	2	4	6	7	2	7
$P_2$	9,5	7,5	3,5	1,5	1,5	9,5
$P_3$	2,5	4,5	6,5	8	2,5	8
$P_4$	1	5	3	9	1	9

Рассмотрим два варианта принятия решений в условиях полной неопределенности (табл.):

а) пусть  $P_1 - P_4$  - это варианты предупреждающих мероприятий, а  $\Pi_1 - \Pi_4$  - это предварительные цены реализации указанных мероприятий различными поставщиками, в соответствии с технико-коммерческими предложениями. Каждое  $e_{ij}$  - это предотвращенный экономический ущерб (млн. руб.) в соответствии с технико-коммерческими предложениями.

В целях максимизации предотвращенного экономического ущерба выбираем критерий оптимизма [6]:

$$E_o = \max_i \max_j e_{ij} = \max_i (7; 9,5; 8; 9) \\ = 9,5 \text{ млн. руб.}$$

Следовательно, наиболее эффективным вариантом реализации предупреждающих мероприятий является  $P_2$ . Выбрав его, при наиболее благоприятных обстоятельствах получим 9,5 млн. руб. предотвращенного экономического ущерба от реализации мероприятия, но при наименее благоприятных обстоятельствах – всего 1,5 млн. руб.

б) пусть  $P_1 - P_4$  - это варианты предупреждающих мероприятий, а  $\Pi_1 - \Pi_4$  - это условия эксплуатации технических устройств, задействованных в реализации указанных мероприятий различными поставщиками, в соответствии с технико-

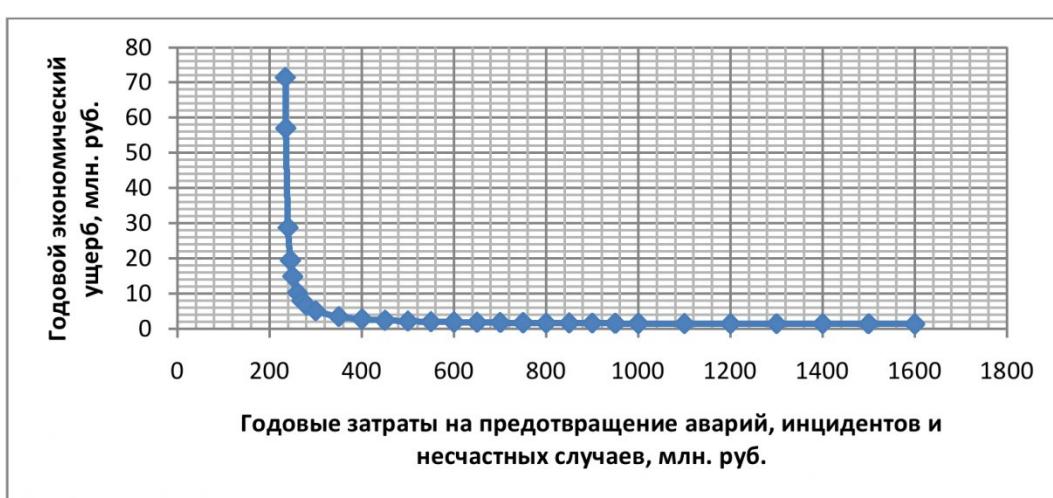


Рис. 6. – Эмпирическая зависимость  $Y_{\Sigma \text{факт.}}$  от  $Z_B$ , в млн. руб., в ОАО «ЮК ГРЭС».

ко-коммерческими предложениями. Каждое  $e_{ij}$  - это эксплуатационные затраты (млн. руб.) при реализации вариантов мероприятий, в соответствии с технико-коммерческими предложениями.

В целях минимизации эксплуатационных затрат выбираем критерий пессимизма [6]:

$$E_n = \min_i \min_j e_{ij} = \min_i (2; 1,5; 2,5; 1) \\ = 1 \text{ млн. руб.}$$

Следовательно, наиболее эффективным вариантом реализации предупреждающих мероприятий является  $P_4$ . Выбрав вариант  $P_4$ , при наиболее благоприятных обстоятельствах мы получим 1 млн. руб. эксплуатационных затрат при реализации мероприятия, однако при наименее благоприятных обстоятельствах – до 8 млн. руб.

Критерий гарантированного результата Вальда [6] обеспечивает максимизацию минимального выигрыша или, что то же самое, минимизацию максимальных потерь, которые могут быть при реализации одной из стратегий. Критерий прост и четок, но консервативен в том смысле, что ориентирует принимающего решение на слишком осторожную линию поведения.

Критерий Сэвиджа [6] минимизирует возможные потери. В основе его предположение о том, что на выбор вариантов обстановки оказывают влияние действия разумных противников (природы), интересы которых прямо противоположны интересам лица принимающего решение (ЛПР). Поэтому, если у противников (конкурентов) имеется возможность извлечь какие-либо преимущества, то они это обязательно сделают. Это обстоятельство заставляет ЛПР обеспечить минимизацию потерь вследствие этих действий.

Критерий Гурвица [6] позволяет учитывать комбинации наихудших состояний. Этот критерий

при выборе решения рекомендует руководствоваться некоторым средним результатом, характеризующим состояние между крайним пессимизмом и безудержным оптимизмом.

7) окончательный выбор мероприятий, направленных на превентивное предупреждение аварийности, травматизма и экологических нарушений в структурных подразделениях с расчетом их экономической эффективности (по формулам (8), (9), (10), (11), приведенным в [5]);

8) формирование программ по совершенствованию СУОТ и ПБ на планируемый период по каждому структурному подразделению и в целом по энергетическому предприятию, из условия:

$$Z_B \geq \sum_{i=0}^n Z_{Bi}, \quad (8)$$

9) защита программы по совершенствованию СУОТ и ПБ на планируемый период в региональной энергетической комиссии Кемеровской области.

### Выводы

1) Предложена методика принятия решений при выборе превентивных мероприятий, направленных на предупреждение аварий, инцидентов, несчастных случаев, а также экологического ущерба.

2) Получены математические модели, основанные на статистике аварийности и травматизма в ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» за 2000-2010 гг., предназначенные для вычисления количества несчастных случаев и инцидентов, в зависимости от годовых затрат на их предупреждение; количества несчастных случаев и инцидентов, в зависимости от текущего года; суммарного фактического годового экономического ущерба от аварий инцидентов и несчастных случаев, в зависимости от годовых затрат на их предотвращение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Поздняков А.Н., Лежава С.А. Анализ травматизма на предприятиях электроэнергетической отрасли на примере ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №3. – С. 69-74.
- Поздняков А.Н., Лежава С.А. Технический контроллинг, как функция поддержки управления аварийностью // Вестник СиБГИУ. – 2013. – №2. – С. 33-39.
- Декларация промышленной безопасности опасных производственных объектов открытого акционерного общества «Южно-Кузбасская ГРЭС» / Д.З. Хасанов, П.О. Посаженников, А.Н. Поздняков и др., – Калтан, 2009. – 565 с.
- Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем: Учебное пособие / Национальная металлургическая академия Украины. – Днепропетровск, 2008. – 284 с.
- Шевченко Л.А., Поздняков А.Н. Методика оценки результативности и экономический эффективности системы управления охраной труда и промышленной безопасностью на опасных производственных объектах электроэнергетики на примере ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 1. – С. 106-110.
- Шапкин А.С. Теория риска и моделирование рисковых ситуаций: Учебник / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – 5-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2010. – 880 с.

□Авторы статьи:

Шевченко

Леонид Андреевич.

докт. техн. наук, профессор,  
зав. каф. аэрологии, охраны труда и  
природы КузГТУ

Тел. 8-903-907-14-91.

Поздняков

Алексей Николаевич

аспирант («Сибирский Госу-  
дарственный индустриальный уни-  
верситет».) Email:

[PozdnyakovAN@gtkn.ru](mailto:PozdnyakovAN@gtkn.ru)