

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

А. А. Зиновьева

Научный руководитель Е. П. Ростова

Нефтегазовая отрасль является одной из основ развития экономики. «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» указывает на необходимость обеспечения промышленной безопасности на объектах топливно-энергетического комплекса [1]. Цель: построение математической модели для прогнозирования числа случаев смертельного травматизма. Задачи: провести статистический анализ травматизма в нефтегазовом секторе; выявить факторы, оказывающие влияние на число несчастных случаев; построить модель зависимости числа несчастных случаев от обнаруженных факторов. Проведем статистической информации по теме на рисунках 1-2 [2].

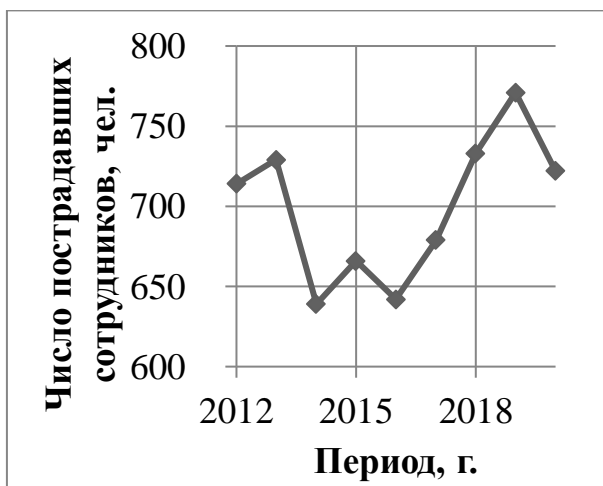


Рисунок 1 – Число несчастных случаев

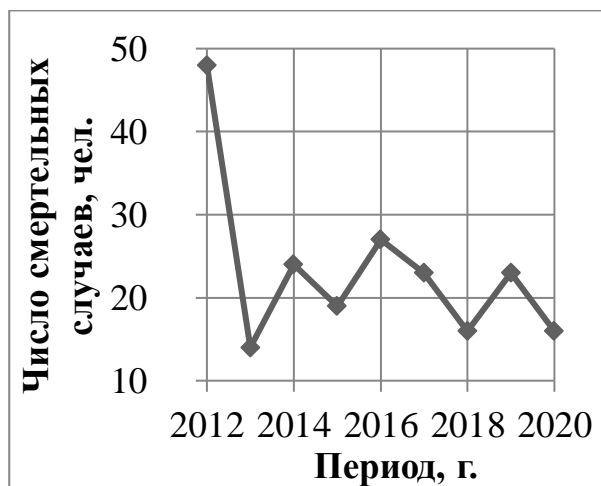


Рисунок 2 – Число смертельных случаев

Наибольшее значение числа случаев смертельного травматизма видим в 2012 году, затем снижение до 71%. Период 2013-2020 сопровождается колебаниями числа смертельных случаев, уменьшение этого показателя после 2012 года связано с увеличением финансирования охраны труда (рисунок 3).

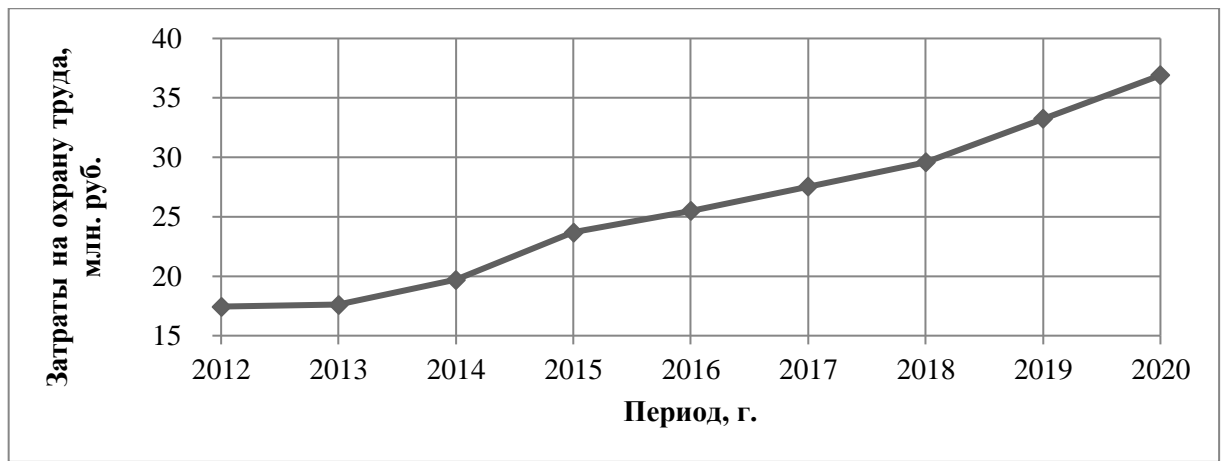


Рисунок 3 – Объем затрат на охрану труда

Проведем анализ факторов смертельного травматизма на предприятиях нефтегазового комплекса [3], построены графики (рисунок 4-5).

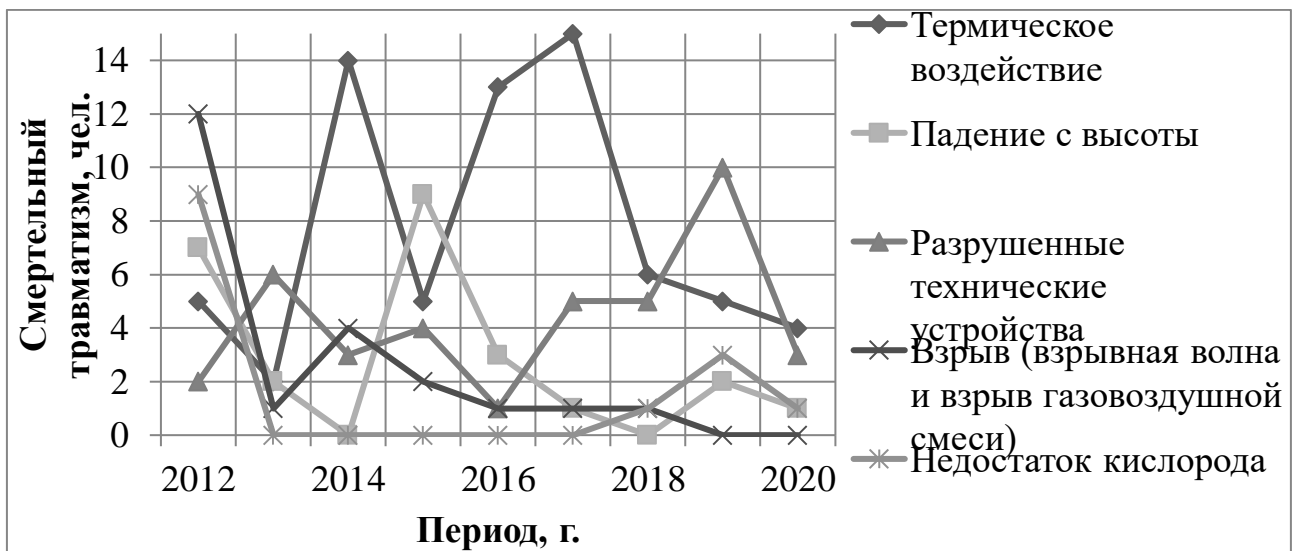


Рисунок 4 – Число смертельных случаев вследствие различных факторов

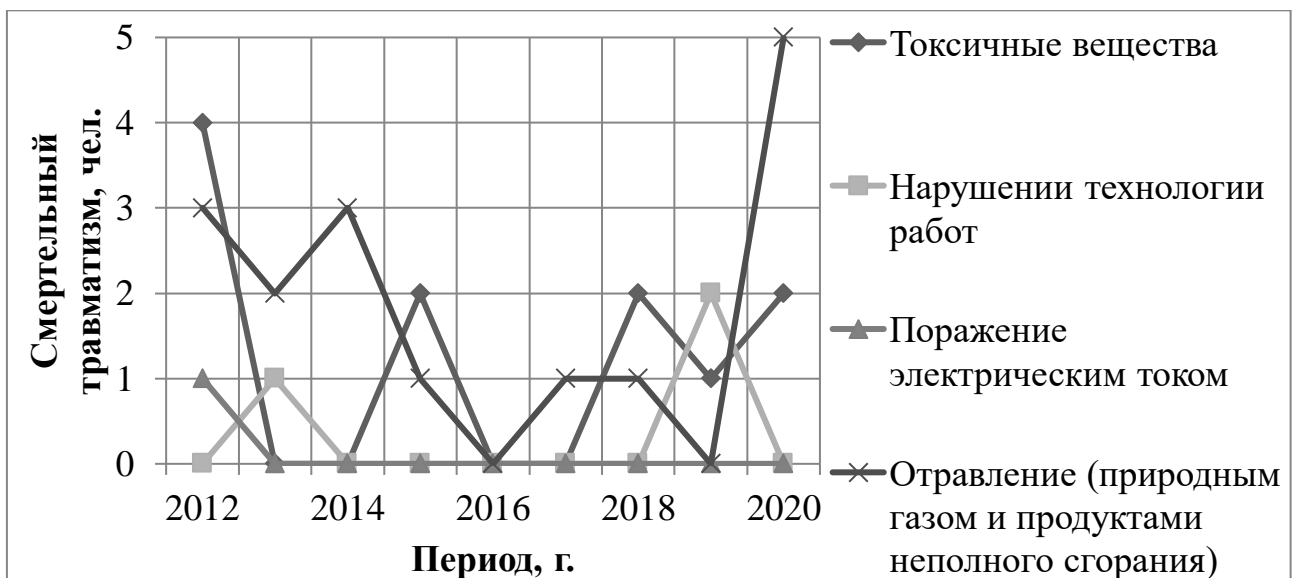


Рисунок 5 – Число смертельных случаев вследствие различных факторов

Основными факторами являются термическое воздействие (в 2014, 2016 и 2017 г. больше 10), разрушенные технические устройства (в 2019 г. 10 человек), падение с высоты (2015 г. 9 человек). Травматизм из-за токсичных веществ носит волнообразный характер. Недостаток кислорода был причиной в 2012 г. и 2018-2020 г. По фактору взрыва отрицательная динамика. Нарушение технологии работ стало причиной для 3 случаев, поражение электрическим током – для 1. Наибольшие значения для отравления в 2020 г. (5 случаев). Выбраны факторы (таблица 1): X_1 – термическое воздействие; X_2 – падение с высоты; X_3 – токсичные вещества; X_4 – недостаток кислорода; X_5 – взрыв; X_6 – разрушенные технические устройства; X_7 – нарушение технологии работ; X_8 – поражение электрическим током; X_9 – отравление.

Таблица 1 – Статистическая информация по факторам смертельного травматизма

Период	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	Y
2012	5	7	4	9	12	2	0	1	3	48
2013	2	2	0	0	1	6	1	0	2	14
2014	14	0	0	0	4	3	0	0	3	24
2015	5	9	2	0	2	4	0	0	1	19
2016	13	3	0	0	1	1	0	0	0	27
2017	15	1	0	0	1	5	0	0	1	23
2018	6	0	2	1	1	5	0	0	1	16
2019	5	2	1	3	0	10	2	0	0	23
2020	4	1	2	1	0	3	0	0	5	16

Определим среднюю вероятность реализации факторов (таблица 2).

Таблица 2 – Таблица вероятностей реализации случаев травматизма по факторам

Период	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2012	10%	15%	8%	19%	25%	4%	0%	2%	6%
2013	14%	14%	0%	0%	7%	43%	7%	0%	14%
2014	58%	0%	0%	0%	17%	13%	0%	0%	13%
2015	26%	47%	11%	0%	11%	21%	0%	0%	5%
2016	48%	11%	0%	0%	4%	4%	0%	0%	0%
2017	65%	4%	0%	0%	4%	22%	0%	0%	4%
2018	38%	0%	13%	6%	6%	31%	0%	0%	6%
2019	22%	9%	4%	13%	0%	43%	9%	0%	0%
2020	25%	6%	13%	6%	0%	19%	0%	0%	31%
Среднее	34%	12%	5%	5%	8%	22%	2%	0%	9%

Вероятны случаи смертельного травматизма из-за факторов: падение с высоты, токсичные вещества, взрыв, разрушенные технические устройства. В общем виде модель выглядит следующим образом (формула 1):

$$(1) Y = K + \sum_{i=1}^n a_i X_i$$

где K - свободный член, a_i - коэффициенты модели, X_i - факторы модели.

Проведем проверку зависимости Y от факторов X_i (таблица 3).

Таблица 3 – Значения парной корреляции для всех переменных

Переменная	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Парная корреляция	0,15	0,46	0,53	0,85	0,90	-0,38	-0,17	0,90	0,06

X_6 , X_7 и X_9 в модели использоваться не будут, поскольку коэффициент парной корреляции отрицательный/близок к нулю, X_8 не используется, так как травматизм из-за данного фактора является маловероятной ситуацией (таблица 2). Проведем анализ мультиколлинеарности параметров (таблица 4).

Таблица 4 – Расчет значений мультиколлинеарности

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	1,00				
X_2	-0,32	1,00			
X_3	-0,54	0,55	1,00		
X_4	-0,32	0,42	0,78	1,00	
X_5	-0,05	0,49	0,64	0,83	1,00

Высокая коррелированность наблюдается между X_3 и X_4 , X_4 и X_5 . Так как X_4 и X_5 имеют высокий коэффициент парной корреляции к Y , а X_3 нет, то в итоге остаются X_1 , X_2 , X_4 , X_5 . Через Excel построим модель (формула 2):

$$(2) Y = 8,65 + 0,99X_1 + 0,66X_2 + 2,71X_4 + 0,44X_5$$

Для проверки качества используются коэффициент детерминации и критерий Фишера. Для модели $R^2 = 0,98$, что указывает на ее высокое качество. Расчетный критерий Фишера равен $F = \frac{0,98}{1 - 0,98} \frac{9 - 4 - 1}{4} = 47,58$.

Табличный критерий при уровне значимости $\alpha = 0,05$ равен 6,39. Так как

$F_{факт} > F_{кр}$, то модель является статистически надежной.

Проведем анализ чувствительности модели по формуле 3:

$$(3) \text{ Чувствительность} = \frac{(Z'-Z)Y}{Z(Y'-Y)} 100\%$$

где Y - первоначальное значение параметра, Y' - новое значение параметра, Z - первоначальное значение числа смертельных случаев, Z' - новое значение числа смертельных случаев. Составим таблицу чувствительности (таблица 5):

Таблица 5 – Чувствительность при увеличении параметров

Изменяемый показатель	Влияние на смертельный травматизм					Чувствительность, %
	X_1	X_2	X_4	X_5	Y	
X_1	9	3	2	2	26	61
X_2	8	4	2	2	25	21
X_4	8	3	3	2	28	19
X_5	8	3	2	3	25	36

Модель наиболее чувствительна к изменениям параметра X_1 .

Выполнено следующее: проведен статистический анализ; выявлены вероятные факторы травматизма; разработана модель, проведена проверка ее надежности и значимости; проведен анализ чувствительности модели.

Список использованных источников:

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // Министерство энергетики РФ. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 25.10.2021).

2. Условия труда // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/working_conditions?print=1 (дата обращения: 07.11.2021).

3. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору // Ростехнадзор. Режим доступа: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 25.10.2021).