

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ КУРСАНТОВ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ

И.Д. Блохин, Н.П. Щербаков, А.Ю. Барашков, И.В. Сусоева (Кострома)

Анализ и расследование несчастных случаев на производстве в Вооруженных Силах РФ является одним из основных вопросов изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Моделирование несчастных случаев позволяет курсантам получить практический опыт по расследованию и построению причинно-следственной модели негативных событий, приведших к несчастному случаю или инциденту, а также разработке превентивных мероприятий их предотвращения [1]. На практических занятиях используются компьютерные обучающие программы моделирования причин несчастных случаев: при возникновении пожара [2], травм в Вооруженных Силах [3], в шахтах [4] и экстренной эвакуации после несчастного случая [5]. Авторами разработана автоматизированная мультимедийная тестирующая образовательная система по охране труда и промышленной безопасности. Важнейшим элементом такой системы является «Дерево событий несчастного случая на производстве», представляющее собой многоуровневую вариативную систему взаимосвязанных событий, приведших к возникновению несчастного случая [6].

Основные понятия и определения по тематике деловой игры рассмотрены в законодательных документах [7–9].

Разработка модели ситуации, которая привела к несчастному случаю в производственных условиях, проводится коллективно, для чего участники деловой игры объединяются в команды – бригады. Описание несчастного случая задается преподавателем. Примеры несчастных случаев.

1. При спуске по лестнице из помещения мастерской, расположенного в зале 3 блока отметки +18.0 на отметку +10.5, инженер (26 лет) потерял равновесие на нижних ступеньках, при этом ладонь правой руки попала между стойкой и перилами, что привело к травматической ампутации большого пальца. Пострадавшему была оказана первая медицинская помощь. Причины: конструктивный недостаток лестницы, изготовленной в 1972 году, в части наличия узла элемента с острым углом между усиливающим элементом и поручнем; личная неосторожность пострадавшего.

2. При возвращении из командировки на автомобиле ГАЗ-31105 на трассе Москва – Ярославль водитель попал в ДТП. В результате столкновения автомобиля ГАЗ-31105 с другим автомобилем водитель получил перелом правой голени, ушиб предплечья левой руки, сотрясение головного мозга. Причина: нарушение ПДД третьими лицами.

3. При осмотре рабочих мест в машинном зале в районе сепаратора пароперегревателя мастер, не применяя предохранительный пояс, оступился, провалился в щель между сепаратором и настилом с отметкой 5,1 м и проскользил по стенке оборудования на фундамент сепаратора на отметку – 2,0 м (общая высота – 7,1 м). Предварительная причина: неприменение работником средств индивидуальной защиты. Предварительный диагноз: ушиб поясничного отдела позвоночника, перелом пятого и шестого ребер слева.

4. Степень тяжести: тяжелый несчастный случай. Во время переноса арматуры от стеллажа к станку по рубке металла, расположенного в цехе № 1, находящегося на территории промышленной зоны АЭС, монтажник оступился и сел на изделие, состоящее из уголка 100 мм и арматуры диаметром 12 мм, получив при этом

проникающее ранение прямой кишки. Причина: нарушение технологического процесса.

5. Степень тяжести (предварительно): тяжелая. На лесах, установленных на отметке 124 м. (76 ярус) с внутренней стороны стенки башенной испарительной градирни № 1 был найден монтажник по монтажу стальных и железобетонных изделий. Травма получена при падении работника с высоты 1,5 м припуске на нижний ярус опалубки «Дока». Причины: личная неосторожность пострадавшего; нарушение трудовой и производственной дисциплины.

6. Степень тяжести: смертельный несчастный случай. На строительной площадке блока № 4 бетонщик и двое работников выполняли уборку территории производства работ на отметке 45,0 м. Решив собрать в одно место все щиты из фанеры, применяемые для проведения бетонирования арматурных конструкций, увидели в стороне лежащим подобный щит и решили его убрать. Трое работников подошли к нему, подняли щит и понесли. При движении бетонщик оступился, и упал в открытый проем на деревянный ящик, расположенный на отметке 27,0 м. Причины: нарушение трудовой и производственной дисциплины; неудовлетворительная организация безопасного выполнения работ.

7. Степень тяжести: смертельный несчастный случай. По поручению руководителя работник производил разгрузку арматурных каркасов с кузова автомобиля. Стropальщик произвел строповку арматурных каркасов за обвязочную проволоку, предохраняющую каркасы от развала, подал команду машинисту башенного крана на подъем каркасов. В момент подъема обвязочная проволока разорвалась, арматурные каркасы развалились и травмировали пострадавшего. Около 22 часов пострадавший работник скончался от посттравматического шока 3-й степени. Причины: нарушение трудовой и производственной дисциплины; неудовлетворительная организация производства работ.

Участники деловой игры выступают в роли членов комиссии по расследованию несчастного случая на производстве.

Моделирование опасной ситуации выполняется в следующей последовательности (таблица 1).

Выявление причин несчастных случаев осуществляется логико-аналитическим методом при помощи «дерева причин» (рисунок 1), под которым понимается согласованная и упорядоченная по уровням иерархии структурно-логическая модель причин, необходимых и достаточных для возникновения несчастного случая.

Вероятность при независимых исходных событиях можно рассчитать по формулам [10]:

- для логической связи "И"

$$P = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (1)$$

- для логической связи "ИЛИ"

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i), \quad (2)$$

где

n – число событий;

q_i – вероятность i -го первичного события.

Таблица 1 – Последовательность моделирования опасной ситуации

Шаги	Задания	Описание и анализ несчастного случая
1	Описать модель несчастного случая	С кем произошел несчастный случай... Что именно произошло... Когда (дата, время)... Исход события... Где произошло... Как произошло (обстоятельства)... Другие обстоятельства, при которых произошло событие ...
2	Моделирование причин несчастного случая, связанных с состоянием «объекта»	«Предположительные» причины происшествия: —
	Моделирование причин несчастного случая, связанных с состоянием человека (потерпевшего)	«Предположительные» причины происшествия: —
3	Выделение корневых нестандартных условий	Нестандартные условия («окружающая среда»): —
	Выделение корневых нестандартных действий	Нестандартные действия (пострадавшего): —
4	Составить список вопросов к пострадавшему от несчастного случая	1.С какого времени работаете на участке, какие выполняете работы, от кого получаете задания на выполнение работ? Какой разряд по профессии? 2.Проводили ли Вам инструктаж по работе, при выполнении которой произошел несчастный случай? Кто проводил инструктаж, где, когда и какой продолжительности? Содержание инструктажа?
	Составить список вопросов к очевидцам несчастного случая	1.Где Вы находились в момент несчастного случая и что в это время там делали? 2.Вы выполняли работу совместно с пострадавшим? 3.Как вел себя пострадавший до несчастного случая, в момент происшествия и после него?
5	Разработать мероприятия по результатам расследования	
6	Установить приоритетность выполнения мероприятий по предотвращению аналогичных несчастных случаев	
7	Рассмотреть действия в аварийных ситуациях	
8	По нормативным документам осуществить:	<ul style="list-style-type: none"> – квалифицировать событие как несчастный случай на производстве; – осуществить выбор по «классификатору причин»; – установить степень тяжести повреждения; – установить первоочередность действий при несчастном случае; – установить порядок извещения о несчастном случае; – определить состав комиссии и сроки расследования; – заполнить бланк акта по форме Н-1

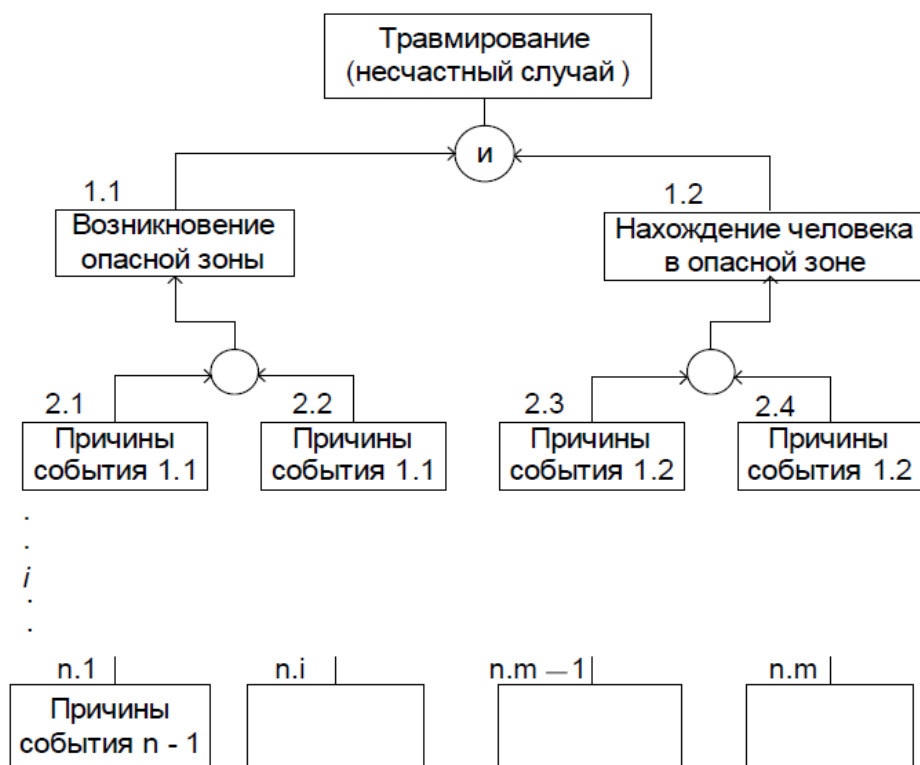


Рис.1 – Схема построения «дерева причин» несчастного случая

В качестве примера рассмотрена схема построения «дерева причин» несчастного случая, который произошел на станке ЦКБ-40 при следующих обстоятельствах: оператор круглопильного станка, выключив станок и не дождаввшись останковки пилы, стала убирать опилки и задела правым предплечьем о вращающуюся пилу (рисунок 2).

Аналитически выражение условия реализации данного несчастного случая имеет вид:

$$\begin{aligned}
 P(A) &= P(B1) \cdot P(B2); \\
 P(B1) &= (P(V1) \cdot P(\Gamma1) \cdot P(D1) \cdot P(E1)) \cdot (P(B2) \cdot P(\Gamma2) \cdot P(D2) \cdot P(E2)); \\
 P(B2) &= P(V3) \cdot P(\Gamma3); \\
 P(\Gamma3) &= P(D3) + P(D4) + P(D5); \\
 P(D3) &= P(E3) \cdot P(\text{Ж}1) + P(E4) \cdot P(\text{Ж}2); \\
 P(D4) &= P(E5) \cdot P(\text{Ж}3); \\
 P(D5) &= P(E6) \cdot P(\text{Ж}4).
 \end{aligned}$$

Сто шестьдесят курсантов принимали участие в практических занятиях по расследованию несчастных случаев. Это составляет 100% выборки для данного исследования.

В работе использовался метод математической статистики – измерение тесноты парной корреляционной связи.

Сущность метода заключается в следующем: проводится n опытов, в которых каждый параметр исследуемого процесса получает n независимых значений x_i , где i – номер параметра.

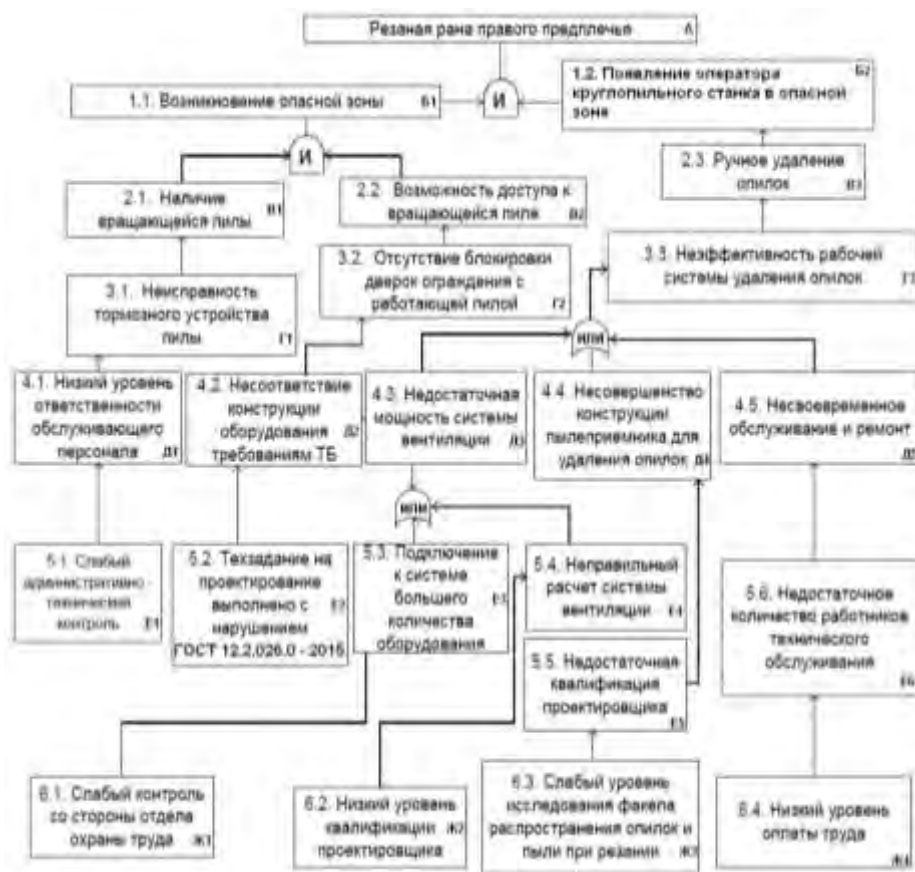


Рис.2 – «Дерево причин» несчастного случая

Результаты эксперимента подвергаются статистической обработке, в том числе:
 – для каждой исследуемой пары параметров определяется коэффициент взаимной корреляции;

– для каждой пары оценивается значимость корреляционной связи по *t* критерию Стьюдента;

– делается вывод о наиболее существенных парных корреляционных связях и принимаются соответствующие организационно-технические решения.

Так как в настоящих исследованиях прямое, количественное измерение, необходимое для оценки взаимосвязанных параметров невозможно, применяется ранговая оценка по заранее выбранной шкале. Ранжирование носит субъективный характер, поэтому для повышения точности анализа увеличивается количество параллельных опытов. Рассмотрим пример корреляционного анализа, выполненный группой студентов вуза. Оценка взглядов на понимание темы практического занятия осуществлялась по пятибалльной шкале путем ранжированного опроса участников. Каждый тематический вопрос представлял собой один опыт. Число вопросов (опытов) $n = 5$.

1. Какой возраст работников соответствует высокому уровню травматизма?

а – 60 и более лет; б – 50–59 лет; в – 40–49 лет; г – 30–39 лет; д – 20–29 лет (а – 1 балл; б – 3 балла; в – 5 баллов; г – 7 баллов; д – 9 баллов).

2. Основные причины аварийности и травматизма на производстве (по значимости):

а – технология выполнения работ; б – человеческий фактор; в – условия внешней среды; г – оборудование, техника (а – 1 балл; б – 7 баллов; в – 5 баллов; г – 3 балла).

3. Распределение несчастных случаев на производстве по видам (по значимости):

а – травмы органов зрения; б – комбинированные травмы; в – травмы кожи и мягких тканей; г – травмы опорно-двигательного аппарата (а – 1 балл; б – 5 баллов; в – 3 балла; г – 7 баллов).

4. Виды несчастных случаев по частоте возникновения:

а – падение пострадавшего с высоты; б – транспортные происшествия; в – падение, обрушения, обвалы предметов; г – воздействие движущихся, вращающихся предметов (а – 1 балл; б – 3 балла; в – 7 баллов; г – 5 баллов).

5. Наибольшее количество погибших в результате несчастных случаев по видам экономической деятельности:

а – транспорт; б – сельское хозяйство; в – обрабатывающие производства; г – строительство (а – 1 балл; б – 3 балла; в – 7 баллов; г – 5 баллов).

Таким образом, каждый опрашиваемый человек (курсант) своим ответом на каждый вопрос оценивается численно: $x_i=1\dots 5$, где i – порядковый номер курсанта по списку. Совокупность ответов курсанта представляет собой статический ряд из переменных параметров x_i .

Общий порядок корреляционного анализа представлен далее.

1. Произведен опрос курсантов группы, и результаты (ответы) сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты опроса

№ опыта (вопроса)	j	1	2	3	4	5
Ответ студента 1	x_1					
Ответ студента 2	x_2					
Ответ студента n_i	x_n					

2. Выбраны, начиная с себя (курсант 1), еще три последующих по списку курсанта для установления тесноты связи между курсантами в трех парах (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты опроса курсантов

№ опыта (вопроса)	j	1	2	3	4	5
Ответ курсанта 1	x_1	7	5	1	7	7
Ответ курсанта 2	x_2	9	7	5	7	7
Ответ курсанта 3	x_3	7	7	5	7	7
Ответ курсанта 4	x_4	7	5	3	5	5

3. Определена теснота связи в парах между курсантами 1–2, 1–3, 1–4 через коэффициент парной корреляции:

$$K_{i-l} = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^{j=n} (x_i \cdot x_l) - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n x_l}{\sqrt{n \cdot \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_1^n x_l^2 - \left(\sum_1^n x_l\right)^2}}, \quad (3)$$

где

x_i, x_l – балльные оценки ответов студентов i и l исследуемой пары;
 K_{i-l} – коэффициент парной корреляции между этими студентами;
 j – номер опыта (вопроса).

Расчет коэффициентов K_{i-l} произведен с использованием вспомогательных расчетных таблиц по каждой паре курсантов (таблицы 4–6).

Таблица 4 – Расчетные данные для пары курсантов 1–2

№ опыта	1	2	3	4	5	Σ
x1	7	5	1	7	7	27
x2	9	7	5	7	7	35
x1 · x2	63	35	5	49	49	201
x12	49	25	1	49	49	173
x22	81	49	25	49	49	253

$$K_{i-l} = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^{j=n} (x_i \cdot x_l) - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n x_l}{\sqrt{n \cdot \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_1^n x_l^2 - \left(\sum_1^n x_l\right)^2}} = \frac{5 \cdot 201 - 27 \cdot 35}{\sqrt{5 \cdot 173 - 27^2} \cdot \sqrt{5 \cdot 253 - 35^2}} = 0,816$$

Таблица 5 – Расчетные данные для пары курсантов 1–3

№ опыта	1	2	3	4	5	Σ
x1	7	5	1	7	7	27
x3	7	7	5	7	7	33
x1 · x3	49	35	5	49	49	187
x12	49	25	1	49	49	173
x32	49	49	25	49	49	221

$$K_{i-l} = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^{j=n} (x_i \cdot x_l) - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n x_l}{\sqrt{n \cdot \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_1^n x_l^2 - \left(\sum_1^n x_l\right)^2}} = \frac{5 \cdot 187 - 27 \cdot 33}{\sqrt{5 \cdot 173 - 27^2} \cdot \sqrt{5 \cdot 221 - 33^2}} = 0,942$$

Таблица 6 – Расчетные данные для пары курсантов 1–4

№ опыта	1	2	3	4	5	Σ
x1	7	5	1	7	7	27
x4	7	5	3	5	5	25
x1 · x4	49	25	3	35	35	147
x12	49	25	1	49	49	173
x42	49	25	9	25	25	133

$$K_{i-l} = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^{j=n} (x_i \cdot x_l) - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n x_l}{\sqrt{n \cdot \sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_1^n x_l^2 - \left(\sum_1^n x_l\right)^2}} = \frac{5 \cdot 147 - 27 \cdot 25}{\sqrt{5 \cdot 173 - 27^2} \cdot \sqrt{5 \cdot 133 - 25^2}} = 0,813$$

Из теории математической статистики известно, что чем больше коэффициент корреляции отличается от нуля, тем выше теснота связи.

Значимость связи оценивается по t-критерию Студента, расчетное значение которого определяется по формуле:

$$t_p = \frac{K_{i-l} \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-K_{i-l}^2}}. \quad (4)$$

$$\text{Для пары 1-2: } t_p = \frac{0,816 \cdot \sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,816^2}} = 4,23.$$

$$\text{Для пары 1-3: } t_p = \frac{0,942 \cdot \sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,942^2}} = 14,48.$$

$$\text{Для пары 1-4: } t_p = \frac{0,813 \cdot \sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,813^2}} = 4,15.$$

Полученные значения t_p сравнивались с табличными t_T , которые определялись по числу степеней свободы $f=n-2=5-2=3$ и доверительной вероятности $P=0,999; 0,99; 0,95; 0,9; 0,8$.

Если расчетное значение критерия больше табличного $t_p > t_T$, то с заданной вероятностью P можно утверждать о значимости корреляционной связи [11].

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов

Парные связи	K	t_p	t_T				
			P=0,999	P=0,99	P=0,95	P=0,9	P=0,8
$x_1 \cdot x_2$	0,816	4,23	12,92	5,84	3,18	2,35	1,63
$x_1 \cdot x_3$	0,942	14,48					
$x_1 \cdot x_4$	0,813	4,15					

Из расчетов видно, что наиболее сильная корреляция существует между курсантами пары x_1-x_3 ($K_{1-3} = 0,942$) и с вероятностью 0,999 можно утверждать о наличии тесной связи между курсантами этой пары, так как $t_p = 14,48 > t_T = 12,92$.

Имитационное моделирование позволяет получить наилучшие решения типичных задач, «проигрывать» различные варианты решений и интерпретировать полученные результаты. Использование имитационного моделирования на практических занятиях является многоцелевой системой и может быть использовано для обучения слушателей: в рамках обязательного учебного процесса в форме деловой игры, отдельных практических занятий или лабораторных работ, самостоятельной работы.

Таким образом, данная методика позволяет использовать метод имитационного моделирования в практике расследования несчастных случаев. Данная методика является универсальной. Она предусматривает особенности выявления и использования информации, полученной в ходе расследования несчастных случаев, и создания на ее основе различных моделей.

Литература

1. **Woodcock K., Drury C.G., Smiley A., Ma J.** Using simulated investigations for accident investigation studies // *Applied Ergonomics*. – 2005. – Vol. 36. – P. 1-2.
2. **Dugdale J., Pavard B., Pallamin N.** Emergency fire incident training in a virtual world // In Proceedings of the International workshop on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2004). 2004.
3. **Hill R., Gratch J., Marsella S., Rickel J., Swartout W., Traum D.** Virtual humans in the mission rehearsal exercise system // *KünstlicheIntelligenz*. –2003. – 4(3). – P. 5-10.
4. **Kizil M.S., Joy J.** What can virtual reality do for safety. University of Queensland, St. Lucia QLD. 2001.
5. **Molka-Danielsen J., Chabada M.** Application of the 3D Multi User Virtual Environment of Second Life to Emergency Evacuation Simulation // In System Sciences (HICSS), proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on Systems Sciences IEEE. – 2010. – P. 1-9.
6. **Сибгатуллин Р.Р., Бадрутдинов М.Н.** Анализ «дерева событий несчастного случая» как средство формирования профессиональной компетенции по безопасности труда для работников газотранспортной отрасли // *Общество: социология, психология, педагогика*. – 2017. – № 11. – С.172-178.
7. Приказ МО РФ от 20.10. 2014 г. № 765 «Об утверждении порядка выдачи справки о травме в вооруженных силах российской федерации, формы справки о травме и правил ее заполнения» // Сайт СПС КонсультантПлюс. [2020]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420231411>.
8. Приказ МО РФ от 29.03.2003 г. № 95 «О расследовании и учете несчастных случаев на производстве в Вооруженных Силах Российской Федерации». // Сайт СПС Консультант Плюс. [2020]. URL:<http://docs.cntd.ru/document/901877892>.
9. Приказ МО РФ от 22.07.2015 г. № 444 «Об утверждении руководства по обеспечению безопасности военной службы в вооруженных силах российской федерации» // Сайт СПС Консультант Плюс. [2020]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420292242>.
10. ГОСТ Р 12.0.010-2009. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков// Сайт СПС Консультант Плюс. [2020]. URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200080860>.
11. Student. The probable error of a mean. // *Biometrika*. – 1908. – № 6 (1). – P. 1-25.