

УДК 658

## Роль имитационного моделирования в системе управления сложным технологическим процессом

Григорюк Е.Н.

В статье представлена система управления сложным технологическим процессом промышленного производства с замкнутым циклом. На основании патентов дается описание процесса изготовления капсуль-воспламенителей с целью создания имитационной модели. Моделирование произведено с помощью компьютерной программы Simulink в комплексе Matlab. Имитационная модель разработана для минимизации ущерба от нежелательного выброса энергии, наиболее проблемного участка с точки зрения техносферной безопасности и тем самым представляет экономическую ценность для предприятия. Моделирование позволяет выявить негативные стороны производственной деятельности, пагубно влияющие на технический персонал и экологию региона, дает возможность разработать программу снижения риска и повышения экономического эффекта. Рассматриваемый в статье материал представляет собой попытку обозначить роль имитационного моделирования для системы управления сложным технологическим процессом.

*Ключевые слова:* экономический эффект, полный технологический цикл, система управления, технологический процесс, материальные и энергетические ресурсы, имитационная модель, вероятность события, дерево происшествий.

## The function of simulation in the monitoring system of a complex technological process

Grigoryuk E.N.

The paper presents the monitoring system for a complex process of a closed-type manufacture. According to the patents, cap-igniter manufacturing process aiming at the development of a simulation model is described. The simulation process is completed by means of Simulink computer program in Matlab complex. The simulation model is designed to minimize damage from unwanted energy emissions at the most troublesome area from the point of view of technosphere security, and thus it is of great economic value to the manufacturer. Simulation makes it possible to detect the negative aspects of the manufacturing process, affecting both technical staff and the environment of the region, as well as to develop a program for reducing the risk and achieving economic benefits. The information under consideration is an attempt to define the function of simulation for the monitoring system of a complex technological process.

*Keywords:* economic effect, a complete technological cycle, management system, a technological process, material and energy resources, a simulation model, event probability, an accident tree.

### Введение

В настоящее время безопасность в природно-техногенной сфере является важнейшей проблемой во всем мире [1]. Производство представляет собой сложную биотехническую систему, опасности со стороны объектов технологического характера становятся все более реальными по мере увеличения народонаселения и развития промышленной сферы [2,3]. Отсутствие единой методологии в управлении

сложными технологическими процессами на предприятии, неопределенности внешней среды, рейтинг производимой продукции на рынке [4] делает актуальным разработку универсальной управленческой системы, позволяющей при внесении в нее незначительных изменений контролировать процесс изготовления продукции дистанционно.

Цель статьи – обозначить роль имитационного моделирования технологического про-

цесса для системы управления сложным технологическим процессом (СУСТП) путем анализа полученных результатов моделирования.

### Управление сложным технологическим процессом

СУСТП (рис. 1) включает в себя потоки информации, материалы и энергию (на входе и выходе из системы), различные процессы преобразования, а также процедуры сравнения [5,6,7]. СУСТП предназначается для:

- снижения роста допуска в основное производство материалов и комплектующих с отдельными отклонениями по показателям;
- своевременного (и в полном объеме) обеспечения предприятия качественными материалами и комплектующими изделиями;
- модернизации производства и обновления основных фондов;
- обеспечения выпуска продукции стабильного качества в соответствии с нормативной документацией;
- снижения текучести кадров;

- сохранения компетентного кадрового потенциала;
- повышения квалификации общей численности рабочих;
- обеспечения устойчивого и динамического развития предприятия.

### Технологический процесс изготовления капсуль-воспламенителей

Процесс изготовления капсуль-воспламенителей (КВ) затрагивает почти все подразделения предприятия [8], сборка КВ производится на полуавтоматической линии [9]. Схема линии представлена на рис. 1, она отображает основной технологический процесс, не учитывая вспомогательные операции. Полуавтоматическая линия имеет защитное ограждение 1. Подача групповой сборки осуществляется при помощи шагового транспортера 2. Заполнение гнезд групповой сборки колпаками производится с помощью механизма наборки 3, которые поступают поочередно по транспортеру 2 к механизму дозирования УВС 4. Механизм дозирования загружается УВС при помощи механизма загрузки 5.

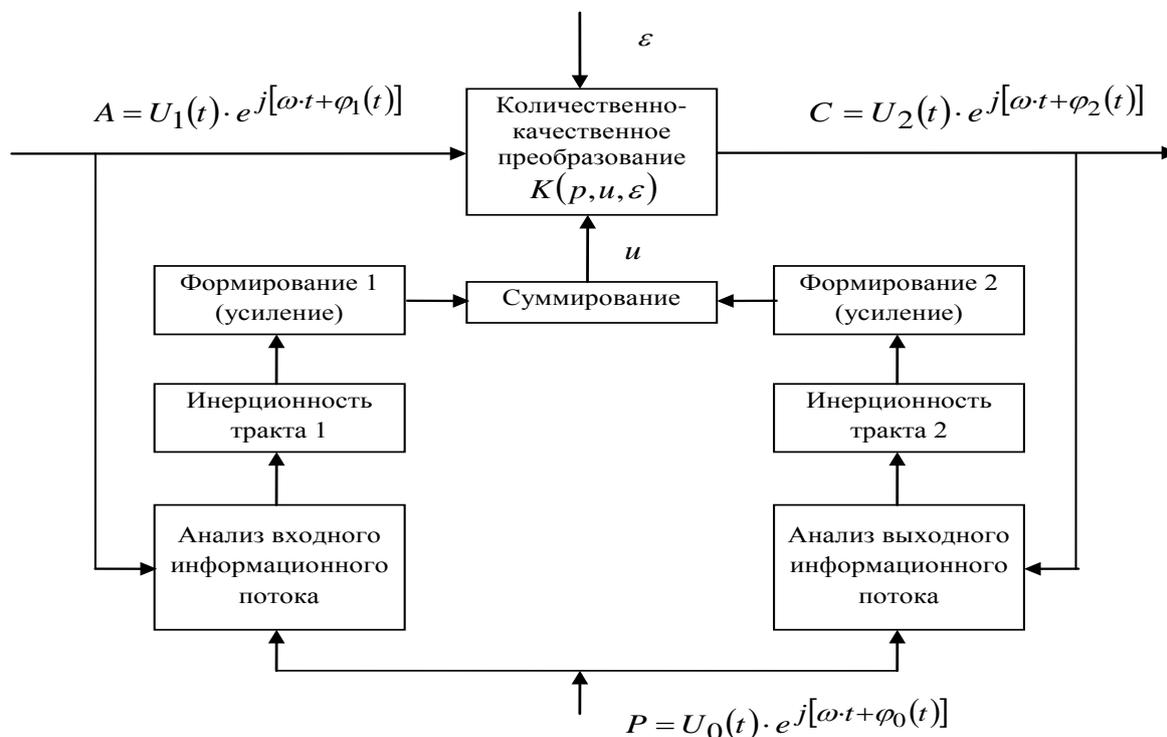


Рис.1. Структурная схема управления сложным технологическим процессом.



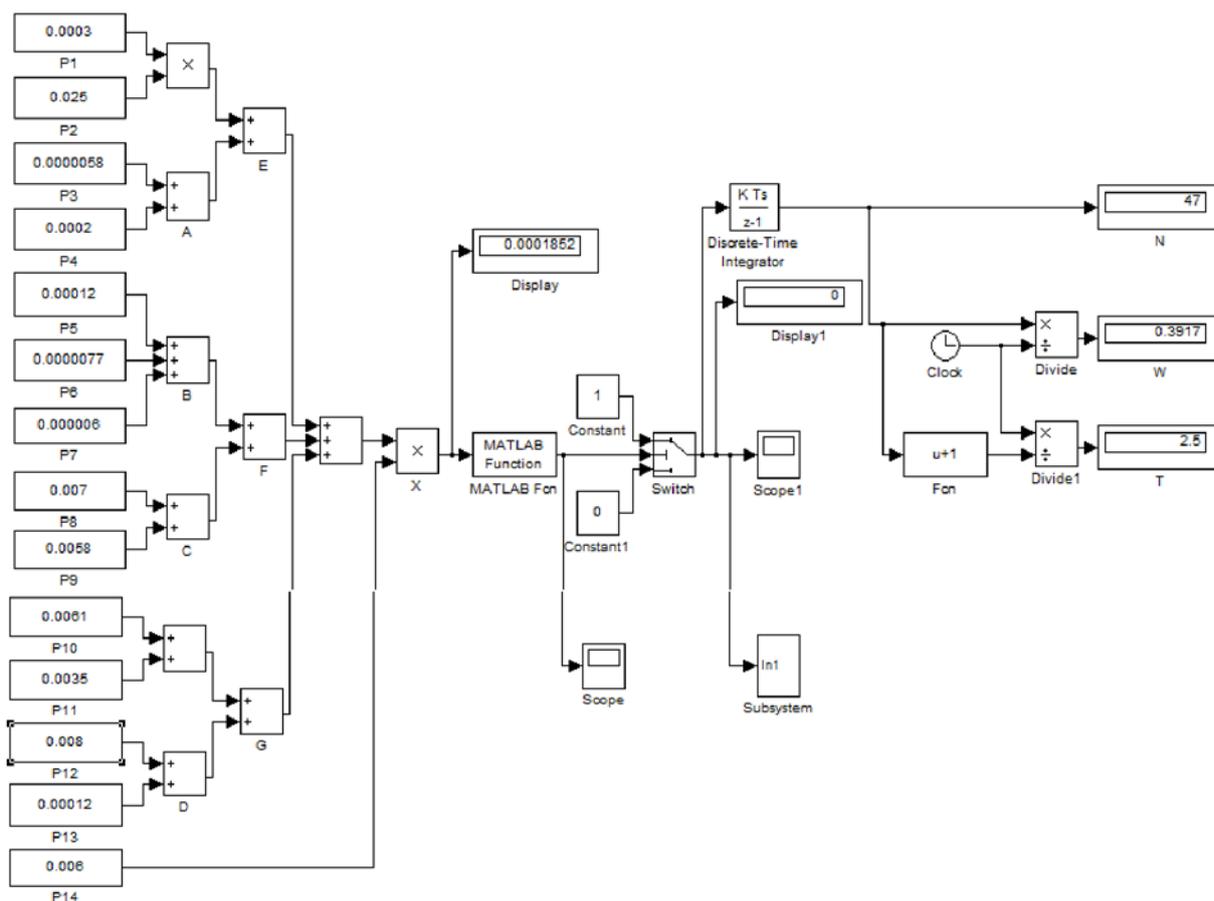


Рис.3. Имитационная модель в комплексе Matlab позиция 9 и 11.

X-Вспышка;

E-Опыление;

G-Прорыв бумажного кружка;

A-Сбой работы системы вентиляции;

B-Повышенная чувствительность УВС;

C-Ошибка в дозировании УВС;

D-Механическое залипание КВ на пуансонах пресс инструмента;

P<sub>1</sub>-Летучесть компонентов УВС (0.0003);

P<sub>2</sub>-Некачественная уборка (0.025);

P<sub>3</sub>-Выход из строя вентилятора (0.0000058);

P<sub>4</sub>-Обрыв ремня (0.0002);

P<sub>5</sub>-Неоднородность УВС (0.00012);

P<sub>6</sub>-Нарушение температурного режима (0.0000077);

P<sub>7</sub>-Нарушение режима влажности (0.000006);

P<sub>8</sub>-Не учтена грав.плотность УВС (0.007);

P<sub>9</sub>-Неправильно выбран средник (0.0058);

P<sub>10</sub>-Нечерчевная высота запрессовки состава (0.0061);

P<sub>11</sub>-Наковаленка с завышенной высотой либо другая (0.0035);

P<sub>12</sub>-Ошибка при закреплении инструмента (0.008);

P<sub>13</sub>-Намагниченный инструмент (0.00012);

P<sub>14</sub>-Механическое воздействие (0.006).

Таблица 1. Оценка динамических параметров

№ эксперимента	Число происшествий (N)	Относительная частота возникновения происшествий (W)	Время выполнения технологического процесса (Тб)
1	63	0.525	1.875
2	48	0.4	2.449
3	61	0.5083	1.935
4	58	0.4833	2.034
5	66	0.55	1.791
6	57	0.475	2.069
7	55	0.4583	2.143
8	56	0.4667	2.105
9	67	0.5583	1.765
10	58	0.4833	2.034
средняя	58.9	0.4908	2.02

Таблица 2. Результаты эксперимента по показателю Бирнбаума

№ эксперимента	$Q_1(X)$ при $P_i=1$	$Q_0(X)$ при $P_i=0$	$\lambda_i^B$
1	0.0003352	0.0001852	0.00015
2	0.000187	0.0001852	0.0000018
3	0.006185	0.006185	0.0059998
4	0.006184	0.000184	<b>0.006</b>
5	0.006184	0.0001845	0.0059995
6	0.006185	0.0001852	0.0059998
7	0.006185	0.0001852	0.0059998
8	0.006143	0.0001432	0.0059998
9	0.00615	0.0001504	0.0059996
10	0.006149	0.0001489	<b>0.0060001</b>
11	0.006164	0.0001642	0.0059998
12	0.006137	0.0001372	0.0059998
13	0.006184	0.0001845	0.0059995
14	0.03087	0	<b>0.03087</b>

Вероятность наступления нежелательного события согласно имитационной модели имеет вид:  $Q_x = ((P_1 \times P_2) + (P(A)) + (P(B) + P(C)) + ((P_{10} + P_{11}) + P(D))) \times P_{14}$ , учитывая вероятности предпосылок  $Q_x = 0.0001852$ .

С помощью эксперимента произведем оценку динамических параметров при  $T = 120$  (фактическое время, затрачиваемое на технологический процесс снаряжения изделий с вычетом технологических перерывов, выраженное в часах в течение 20 рабочих смен);

Результаты оценки динамических параметров в ходе эксперимента представлены в таблице 1.

Из таблицы следует, что:

- среднее количество происшествий в течение 120 часов рабочего времени равно 58.9;

- средняя относительная частота возникновения происшествий равна 0.4908;
- среднее время выполнения техпроцесса до вспышки равно 2.02 часа.

Полученные результаты имитационного моделирования совпадают с практическими данными по учету вспышек на производственном участке (от 0 до 5 вспышек за одну технологическую смену), что подтверждает правильное построение имитационной модели.

Имитационная модель дает возможность выявить наиболее значимые предпосылки возникновения нежелательного события, а также минимизировать их в ходе реального времени. С помощью критерия Бирнбаума  $\lambda_i^B$  выявляем наиболее критические предпосылки [15].

Показатель Бирнбаума рассчитывается (1) как разность между вероятностями происше-

ствия до возникновения предпосылки  $Q_0$  и после возникновения предпосылки  $Q_1$ . ( $Q_0(X)$  при  $P_i=0$ ;  $Q_1(X)$  при  $P_i=1$ ) [16].

$$\lambda_i^B = Q_1(X) - Q_0(X) = \Delta Q_i, \quad (1)$$

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 2.

В ходе модельного эксперимента по показателю Бирнбаума выявились три наиболее значимые предпосылки возникновения вспышки:

- $P_4$ -Обрыв ремня ( $\lambda_i^B = 0.006$ );
- $P_{10}$ -Нечерчевая высота запрессовки состава ( $\lambda_i^B = 0.0060001$ );
- $P_{14}$ -Механическое воздействие ( $\lambda_i^B = 0.03087$ ).

### Заключение

Производственные опасности, как правило, имеют скрытый характер, их своевременное обнаружение и идентификация имеет большое значение при проведении профилактических мер. Проблема снижения вероятности возникновения неконтролируемого выброса энергии заключается в сфере модернизации, несбалансированной финансовой поддержки со стороны государства, а в связи с этим несвоевременной заменой производственных элементов. Промышленные предприятия России наряду с недофинансированием испытывают кадровый дефицит, а также кризис системы планирования и управления разработками. Представленные в работе расчеты имитационного моделирования дают возможность положительного влияния на технологический процесс изготовления изделий путем внесения корректив в СУСП, тем самым отражая значимость имитационной модели.

### Литература

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.Л. Постиндустриальные риски России // Проблемы анализа риска, 2009, Т.6, №4. – С.8-24.
2. В Самарской области на полигоне взорвались боеприпасы // Альтапресс.ru [Электронный

ресурс] Режим доступа: [www.altapress.ru/story/109601](http://www.altapress.ru/story/109601) (дата обращения 20.04 2014)

3. Тараненко М.Г. Модернизация структуры социальной организации оборонного предприятия как проблема оборонно-производственной безопасности // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки, 2011, №1. – С.62-66.

4. Пустовит А.Е., Козлов В.И. Методика расчета индекса безопасности труда // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2013, №3. – С.65-68.

5. Потапова Т.Б. Структурный анализ системы управления непрерывным замкнутым производством // Приборы и системы управления, 1999, №12. – С.16-24.

6. Курилов И.А., Григорюк Е.Н., Калинин М.В., Кириллов И.Н., Лашин А.Е., Булкин В.В. Принципы управления информационными потоками в технологических процессах // Методы и устройства передачи обработки информации, 2013, №1. – С.13-18.

7. Григорюк Е.Н. Применение эмпирических методов научного познания при разработке системы управления безопасностью промышленного производства // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2013, №4. – С.5-11.

8. Открытое Акционерное Общество «Муромский Приборостроительный Завод» [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.mpzflame.ru/primers.php](http://www.mpzflame.ru/primers.php) (дата обращения 23.04 2014)

9. Патент РФ 2436036 F42C 19/10, F42B 3/195. Линия изготовления капсулей-воспламенителей. / Волков В.С., Бибнев Н.М., Веденев М.Ф., Рыбцов В.В., Демидов В.А., Кузьмин С.А., Ховансков В.Н., Бабочкин С.Ю. / опубл. 10.12.2011, БИПМ №34 [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.freepatent.ru](http://www.freepatent.ru) (дата обращения 23.04 2014)

10. Патент РФ 2174668 F42C 19/10, F42B 3/195. Способ сборки капсулей-воспламенителей в устройство пресс-инструмента для его осуществления. / Меркулов В.А., Авсеенко И.М., Киселев В.Н., Даниленко А.М., Меркулова С.А. / опубл. 26.01.2000 [Электронный ресурс] Режим доступа: [www.freepatent.ru](http://www.freepatent.ru) (дата обращения 23.04 2014)

11. Патент РФ 2106330 C06B. Неоржавляющий ударный состав. / Батин В.А., Ховансков В.Н.,

Дудукин В.Н., Окишев О.И., Карачев Г.Н., Мушкаев А.К., Бибнев Н.М., Беляев В.В., Рудаков Е.В., Потриденный В.В., Савин А.П., Которов Н.Е. / опубл. 10.03.1998 [Электронный ресурс] Режим доступа: www.freepatent.ru (дата обращения 23.04 2014)

12. Коробчук М.В., Веригин А.Н., Джангирян В.Г., Фадеев Д.В., Абдуллин И.А. Современное смесительное оборудование для приготовления многокомпонентных энергонасыщенных композиций // Вестник Казанского технического университета, 2013, Т.16, №4. – С.240-243.

13. Терёхин В.В. Моделирование в системе MATLAB: Учебное пособие. – Новокузнецк: Кузбассвузиздат, 2004. – С.376.

14. Матиаб: Справочник.– СПб: Питер, 2003.

15. Серeda С.Н. Экономические факторы экологической безопасности // Фундаментальные исследования. 2003. №11, Т8. – С.1598-1601.

16. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Академия, 2003. – 512 с.

### References

1. Vorobyov Y.L., Akimov V.A., Sokolov J.L. Postindustrial'nye riski Rossii [Postindustrial risks Russia] // Problemy analiza riska [Problems of risk analysis], 2009, Т.6, №4. – P.8-24.

2. V Samarskoj oblasti na poligone vzorvalis' boepripasy [Samara Region landfill exploded ammunition] // Altapress.ru [Electronic resource]. Access mode: www.altapress.ru/story/109601.

3. Taranenko M.G. Modernizacija struktury social'noj organizacii oboronno predpriyatija kak problema oboronno-proizvodstvennoj bezopasnosti [Modernization of the structure of social organization of the defense enterprise as a problem of the defense industrial safety] // Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo universiteta. Serija: Gumanitarnye i social'nye nauki [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Humanities and Social Sciences], 2011, №1. – P.62-66.

4. Poustovit A.E., Kozlov V.I. Metodika rascheta indeksa bezopasnosti truda [Method of calculating the index safety] // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Herald Kuzbass State Technical University], 2013, №3. – P.65-68.

5. Potapova T.B. Strukturnyj analiz sistemy upravlenija nepreryvnym zamknutym proizvodstvom

[Structural analysis of the control system closed continuous production] // Pribory i sistemy upravlenija [Instruments and Control Systems], 1999, № 12. – P.16-24.

6. Kurilov I.A., Grigoruk E.N., Kalinichenko M.V., Kirillov I.N., Lachine A.E., Bulkin V.V. Principy upravlenija informacionnymi potokami v tehnologicheskikh processah [Principles of information management in processes] // Metody i ustrojstva peredachi obrabotki informacii [Methods and devices transmit information processing], 2013, № 1. – P.13-18.

7. Grigoryuk E.N. Primenenie jempiricheskikh metodov nauchnogo poznaniya pri razrabotke sistemy upravlenija bezopasnost'ju promyshlennogo proizvodstva [Application of empirical methods of scientific knowledge in the development of production safety management systems] // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering industry and life safety], 2013, № 4. – P.5-11.

8. Otkrytoe Akcionernoe Obshestvo «Muromskij Priborostroitel'nyj Zavod» [Open Joint Stock Company «Murom Instrument Factory»] // [Electronic resource]. Access mode: www.mpzflame.ru/primers.php

9. RF Patent 2436036 F42C 19/10, F42B 3/195. Linija izgotovlenija kapsjulej-vosplamnitelej [Production line of blasting igniters]. / Volkov V.S., Bibnev N.M., Vedeneev M.F., Demidov V.A., Kuzmin S.A., Khovanskov V.N., Babochkin S.Y. / Publ. 10.12.2011, BIPM № 34.

10. RF Patent 2174668 F42C 19/10, F42B 3/195. Sposob sborki kapsjulej-vosplamnitelej v ustrojstvo press-instrumenta dlja ego osushhestvlenija [A method of assembling blasting ignition device in a press tool for its implementation]. / Merkulov V.A., Avseenko I.M., Kiselev V.N., Danilenko A.M., Merkulov S.A. / Publ. 26.01.2000.

11. RF Patent 2106330 C06B. Neorzhlavlajushhij udarnyj sostav [No rusting percussion composition]. / Botin V.A., Khovanskov V.N., Dydyukin V.N., Okishev O.I., Karachiv G.N., Mushkaev A.K., Bibnev N.M., Belyaev V.V., Rudakov E.V., Potridenny V.V., Savin A.P., Kotorov N.E. / Publ. 10.03.1998.

12. Korobchuk M.V., Verigin A.N., Dzhangiryan V.G., Fadeev D.V., Abdullin I.A. Sovremennoe smesitel'noe oborudovanie dlja prigotovlenija mnogokomponentnyh jenergonasyshennykh kompozicij [Modern mixing equipment for the preparation of multi-energy-tracks] // Vestnik Kazanskogo tehničeskogo universiteta [Bul-

letin of the Kazan University of Technology], 2013, vol.16, № 4. – P.240-243.

13. *Terehin V.V.* Modelirovanie v sisteme MATLAB: Uchebnoe posobie [Simulation of the system MATLAB: Textbook] / Kemerovo State University. – Novokuznetsk, Kuzbassvuzizdat 2004. – 376 p.

14. *Matiab*: Reference book. – St. Petersburg, Piter, 2003.

15. *Sereda S.N.* Jekonomicheskie faktory jekologicheskoj bezopasnosti [Economic factors of environmental safety] // Fundamental'nye issledovanija [Fundamental Research], 2003, vol. 8, № 11. – P.1598-1601.

16. *Belov P.G.* Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnyh processov v tehnosfere [System analysis and modeling of the dangerous processes in techosphere]. – Moscow, Academia, 2003. 512 p.

**Статья поступила в редакцию 1 сентября 2014 г.**

---

*Григорюк Екатерина Николаевна* – аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: kat-grigoryuk@yandex.ru

---

*Grigoryuk Ekaterina Nikolaevna* – Graduate student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: kat-grigoryuk@yandex.ru