

канд. техн. наук **Заворотный А.Г. / Zavorotnyy A.G., Ph.D.**¹
канд. техн. наук **Копнышев С.Л. / Kopnyshev S.L., Ph.D.**¹
Финченко Ю.А. / Finchenko Yu.A.¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 10.06.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 02.03.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 31.03.2016;

Обоснование допустимых значений параметров техногенных чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами, в Российской Федерации²

Identification of Allowable Parameter Values in Respect of Fire Emergencies in the Russian Federation

Określenie dopuszczalnych wartości parametrów sytuacji nadzwyczajnych wywołanych przez człowieka i związanych z pożarami w Federacji Rosyjskiej

АННОТАЦИЯ

Цель: Обоснование количественного критерия перехода к экстремальным значениям наступления редких и масштабных (крупных) чрезвычайных ситуаций для техногенной сферы, связанных с пожарами.

Введение: В последние годы в России, несмотря на общее снижение количества чрезвычайных ситуаций, наблюдается увеличение масштабов и соответственно ущербов от них. В них вовлекаются все большие массы людей, которые не только подвергаются воздействию прямых поражающих факторов, но и испытывают психологический стресс, как во время самой чрезвычайной ситуации, так и после. Управление риском, определяемым сочетанием вероятности и последствий чрезвычайных ситуаций, направлено в конечном итоге, как на снижение вероятности нежелательных событий, так и на уменьшение последствий чрезвычайных ситуаций, в том числе и связанных с пожарами. Пожароопасные факторы, действующие в техносфере и ставшие в последнее время настоящим бедствием, особенно опасны для нашей страны. В целом по стране ежегодно возникает около 300 тыс. пожаров. По этим показателям мы прочно удерживаем «первенство» не только среди стран Западной Европы и США, но и многих менее развитых стран мира. Ежегодно во время пожаров погибает 11-16 тыс. человек. Величина потерь от пожаров превышает общий ущерб государства от чрезвычайных ситуаций техногенного характера и является, по существу, безвозвратной. Урон от пожаров не только невосполним, но и требует еще больших затрат для восстановления уничтоженных материальных ценностей. В статье применяется статистика по пожарам и их последствиям по Российской Федерации на период с 2005 по 2014 г.г.

Методология: продемонстрирован метод построения статистических квантиль – диаграмм для обоснования законов распределения параметров чрезвычайных ситуаций для техногенной сферы, связанных с пожарами. Знание законов распределения позволяет оценивать риск возникновения таких чрезвычайных ситуаций и обосновывать комплекс мероприятий, необходимых для успешного их предотвращения.

Выводы: Решить задачу полного устранения негативных воздействий в техносфере нельзя. Для обеспечения защиты в условиях техногенной сферы реально лишь ограничить воздействие негативных факторов их допустимыми уровнями с учетом их сочетанного (одновременного) действия. Соблюдение предельно допустимых уровней воздействия - один из основных путей обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в условиях техносферы.

Ключевые слова: закон распределения, пожары и их последствия, квантиль – диаграмма, количественный критерий, вероятность

Вид статьи: тематическое исследование – анализ реальных случаев

ABSTRACT

Aim: Quantify the criterion for attainment of extreme/critical values for the infrequent occurrence of major scale fire emergencies caused by human behaviour.

Introduction: During recent years, despite an overall decline in number of emergencies in Russia, incidents have increased in magnitude and consequential scale of loss. Emergency situations increasingly affect more people who experience not only negative material consequences, but

¹ Академия Государственной противопожарной службы МЧС России / State Fire Academy of EMERCOM of Russia; email: zavorotnyi_agz@mail.ru;

² Процентное соотношение участия в создании статьи / Percentage contribution: Zavorotnyy A.G. – 34%, Kopnyshev S.L. – 33%, Finchenko Yu.A. – 33%;

also associated psychological stress at the time of the incident and the aftermath. Risk management, defined as the combination of likelihood and consequence of emergency incidents, is targeted at mitigating the probability of events occurring and restrain the effects, in this case the consequences of fire. In recent times, factors linked to human behaviour, which invoke the threat from fires, are a real problem and particularly dangerous for Russia. Generally, some 300 K fires are registered in Russia. According to the data, Russia occupies a leading position in this respect, not only among countries from Western Europe and USA, but also among many less developed countries of the world. Each year some 11K to 16K people die in fire incidents. The magnitude of loss caused by fires exceeds the sum of other losses in the country caused by emergencies linked to human activity, which in reality cannot be recouped. Destruction caused by fire is not only irreplaceable, but additionally requires bigger resources to restore damaged property. The article contains data about fire incidents and consequences, in the Russian Federation, for the years 2005 to 2014.

Methodology: Presented a method for the construction of statistical quantile diagrams to substantiate parameter distribution laws for emergency incidents associated with fires. The understanding and application of relevant distribution laws facilitates the prediction of risk, of an event occurring, and the identification of resources necessary to mitigate such risk.

Conclusions: It is not possible to completely eliminate negative consequences from emergencies in a society. In order to secure a degree of safety it is only possible to mitigate negative consequences up to an acceptable level, by taking account of combined (simultaneous) interaction of influences. Compliance with designated interaction boundaries is one of the main approaches for ensuring the safety of human life in the environment.

Keywords: laws of distribution, fires and their consequences, quantile diagram, quantitative criterion, probability

Type of article: case study – analysis of actual events

ABSTRAKT

Cel: Określenie kryterium ilościowego dla osiągnięcia ekstremalnych/krytycznych wartości wystąpienia rzadkich i wielkoskalowych sytuacji nadzwyczajnych związanych z pożarami i wywołanych działalnością człowieka.

Wprowadzenie: W ostatnich latach w Rosji, mimo ogólnego spadku liczby sytuacji nadzwyczajnych, obserwuje się zwiększenie się ich skali, a w następstwie tego powodowanych przez nie szkód. Sytuacje nadzwyczajne dotyczą coraz większe grupy ludzi. Doświadczają oni nie tylko negatywnego wpływu bezpośrednich czynników tych sytuacji, ale również związanego z nimi stresu psychologicznego zarówno w czasie ich trwania, jak i po ich ustaniu. Zarządzanie ryzykiem, określane jako związek prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji nadzwyczajnej oraz jej skutków, ma na celu, w ostatecznym rozrachunku, zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanych zdarzeń oraz ograniczenie ich skutków, w tym związanych z pożarami. W ostatnim czasie czynniki wywołujące zagrożenia pożarowe związane z działalnością człowieka są prawdziwą plagą i są szczególnie niebezpieczne dla Rosji. Ogółem w Rosji co roku rejestruje się około 300 tysięcy pożarów. Według tych danych Rosja jest pod tym względem „w czołówce” nie tylko krajów Europy Zachodniej i USA, ale również wielu państw mniej rozwiniętych. Co roku w pożarach ginie od 11 do 16 tysięcy ludzi. Wielkość strat powstałych w wyniku pożarów przewyższa sumę strat państwa powstałych w wyniku sytuacji nadzwyczajnych związanych z działalnością człowieka i jest, tak naprawdę, nie do odzyskania. Szkody pożarowe bywają nie tylko niemożliwe do odbudowy, ale wymagają dodatkowo większych środków do odtworzenia zniszczonych dóbr materialnych. W artykule przedstawiona jest statystyka występowania pożarów i ich skutków w Federacji Rosyjskiej za okres od 2005 do 2014 roku.

Metodologia: Przedstawiono metodę tworzenia wykresów kwantylowych w celu uzasadnienia praw rozkładu parametrów sytuacji nadzwyczajnych związanych z pożarami wywołanymi działalnością człowieka. Dzięki prawom rozkładu można oceniać ryzyko powstania takich sytuacji nadzwyczajnych i określić środki konieczne do skutecznego zapobiegania im.

Wnioski: Rozwiązanie problemu całkowitego usunięcia negatywnych skutków sytuacji nadzwyczajnych w środowisku technicznym człowieka nie jest możliwe. Aby zapewnić bezpieczeństwo ludziom w środowisku technicznym możliwe jest jedynie ograniczenie wpływu negatywnych czynników do ich dopuszczalnych poziomów z uwzględnieniem ich wspólnego (jednoczesnego) oddziaływania. Przestrzeganie wyznaczonych granic oddziaływań to jedna z podstawowych metod zapewnienia bezpieczeństwa życia ludzkiego w środowisku technicznym.

Słowa kluczowe: prawo rozkładu, pożary i ich skutki, wykres kwantylowy, kryterium ilościowe, prawdopodobieństwo

Typ artykułu: studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych

1. Введение

В последние годы в России, несмотря на общее снижение количества чрезвычайных ситуаций, наблюдается увеличение масштабов и соответственно ущербов от них. В них вовлекаются все большие массы людей, которые не только подвергаются воздействию прямых поражающих факторов, но и испытывают психологический дистресс, как во время самой чрезвычайной ситуации, так и после [1].

Управление риском, определяемым сочетанием вероятности и последствий чрезвычайных ситуаций, направлено в конечном итоге, как на снижение вероятности нежелательных событий, так и на уменьшение последствий чрезвычайных ситуаций, в том числе и связанных с пожарами. Риск крупных чрезвычайных ситуаций характеризуется большим размером последствий для населения и окружающей среды (как правило, по масштабам – выходящим за пределы отдельного региона) и малыми величинами вероятностей (частот) наступления подобных событий. Эта специфика крупных чрезвычайных ситуаций, в том числе и связанных с пожарами, предопределяет ограниченную примени-

мость традиционных методов как при оценке рисков, так и управлении риском крупных чрезвычайных ситуаций в техносфере [2-3]. В этом случае используют методы асимптотической теории вероятностей экстремальных значений.

В данной работе для анализа вероятностных распределений чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами, были использованы методы построения квантиль-диаграмм имеющихся статистических данных.

2. Анализ реальных событий

В основе построения квантиль-диаграмм лежит доказываемая в теории вероятностей теорема о том, что случайная величина η , представляющая собой функцию распределения некоторой другой случайной величины ξ ($\eta=F(\xi)$), имеет равномерное на отрезке $[0,1]$ распределение [2]. Это означает, что если случайная величина точно следует закону распределения $F(x)$, то после упорядочения и перенумерации имеющихся статистических данных по возрастанию

$$x_1 \leq x_2 \dots \leq x_N \quad (1)$$

и последующего нанесения точек $(F(x_i), x_i^* = \frac{i}{N+1})$ на график в декартовой системе координат, все они должны оказаться практически на одной прямой. Отклонения точек от прямой будут тем меньше, чем точнее будет установлена реальная функция распределения случайной величины, имеющей выборку (x_1, x_2, \dots, x_N) [2], [4].

На практике, как правило, находят значения функции $Q(x) = F^{-1}(x)$, являющейся обратной к теоретической функции распределения случайной величины $F(x)$, в точках $p_i = \frac{i}{N+1}, i = 1, 2, \dots, N$:

$$Q_i = Q\left(\frac{i}{N+1}\right) \quad (2)$$

как функцию, определяющую для каждого значения p_i такое наименьшее значение, слева от которого располагается 100 p_i процентов статистических данных. После этого на плоскости в ортогональной системе координат наносят точки с координатами (Q_i, x_i) (теоретически определенные значения квантили – на горизонтальной оси, статистические данные – на вертикальной) и, если точки попадают практически на одну прямую (при некотором их рассеянии), то предположение о принятой функции распределения случайной величины $F(x)$ считается правдоподобным.

Методика построения квантиль – диаграмм подробно описана в работе [5].

Для демонстрации возможности использования квантиль – диаграмм при анализе данных о чрезвычайных ситуациях техногенного характера были использованы данные по пожарам, произошедшим в Российской Федерации в 2005-2014 годах [3], [6], [7], которые сведены в таблицу 1.

В качестве основных показателей в таблице используются количество пожаров, материальный ущерб от пожаров, число погибших и травмированных человек.

Для выбора неизвестной функции распределения для указанных в таблице 1 статистических данных по количеству пожаров, погибших и травмированных на пожарах, а также материальному ущербу, нанесенному

пожарами, использовались распределения:

$$\text{экспоненциальное} \quad F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3)$$

$$\text{Вейбулла} \quad F(x) = 1 - e^{-\lambda x^\tau}, x > 0 \quad (4)$$

где λ, τ – параметры распределения;

$$\text{нормальное} \quad F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) du \quad (5)$$

где μ – математическое ожидание; σ – среднеквадратическое отклонение; u – параметр интегрирования;

$$\text{логнормальное} \quad F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \frac{1}{u} \exp\left(-\frac{(\ln u - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) du \quad (6)$$

где μ, σ – параметры;

$$\text{Парето} \quad F(x) = 1 - \left(\frac{x_0}{x}\right)^\alpha \quad \text{для } x > x_0 \quad (7)$$

Где x_0, α – параметры;

$$\text{Гумбеля} \quad F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha - x}{\beta}\right)\right] \quad (8)$$

где α, β – параметры;

$$\text{Фреше} \quad F(x) = \exp\left[-\left(\frac{u-\varepsilon}{x-\varepsilon}\right)^k\right], k > 0, \varepsilon \leq x < \infty \quad (9)$$

где k, u, ε – параметры.

На рисунках 1-4 представлены квантиль - диаграммы рассмотренных выше распределений по данным о чрезвычайных ситуациях, связанным с пожарами в 2005-2014 годах. На эти же графики нанесены линии тренда (прямые).

Таблица 1. Количество пожаров и их последствий по Российской Федерации за период с 2005 по 2014 г.г. [6], [7]

Table 1. Frequency of fires and their consequences in the Russian Federation for the period 2005 to 2014 [6], [7]

Год Year	Кол-во пожаров Frequency of fires	Кол-во погибших на пожарах Frequency of people killed by fires	Кол-во травмированных на пожарах Frequency of fire related injuries	Материальный ущерб, [млн. руб.] Material loss, [mln. rub.]
2005	229800	18412	13362	6682,478
2006	220500	17238	13554	8475,058
2007	212600	16066	13688	8696,231
2008	202000	15301	12887	12228,599
2009	187571	13946	13269	11193,9
2010	179098	12983	13067	14097,9
2011	168500	12019	12516	16882,3
2012	162900	11635	11962	13970,3
2013	152675	10567	11062	13202,9
2014	149797	10037	10905	16000,0

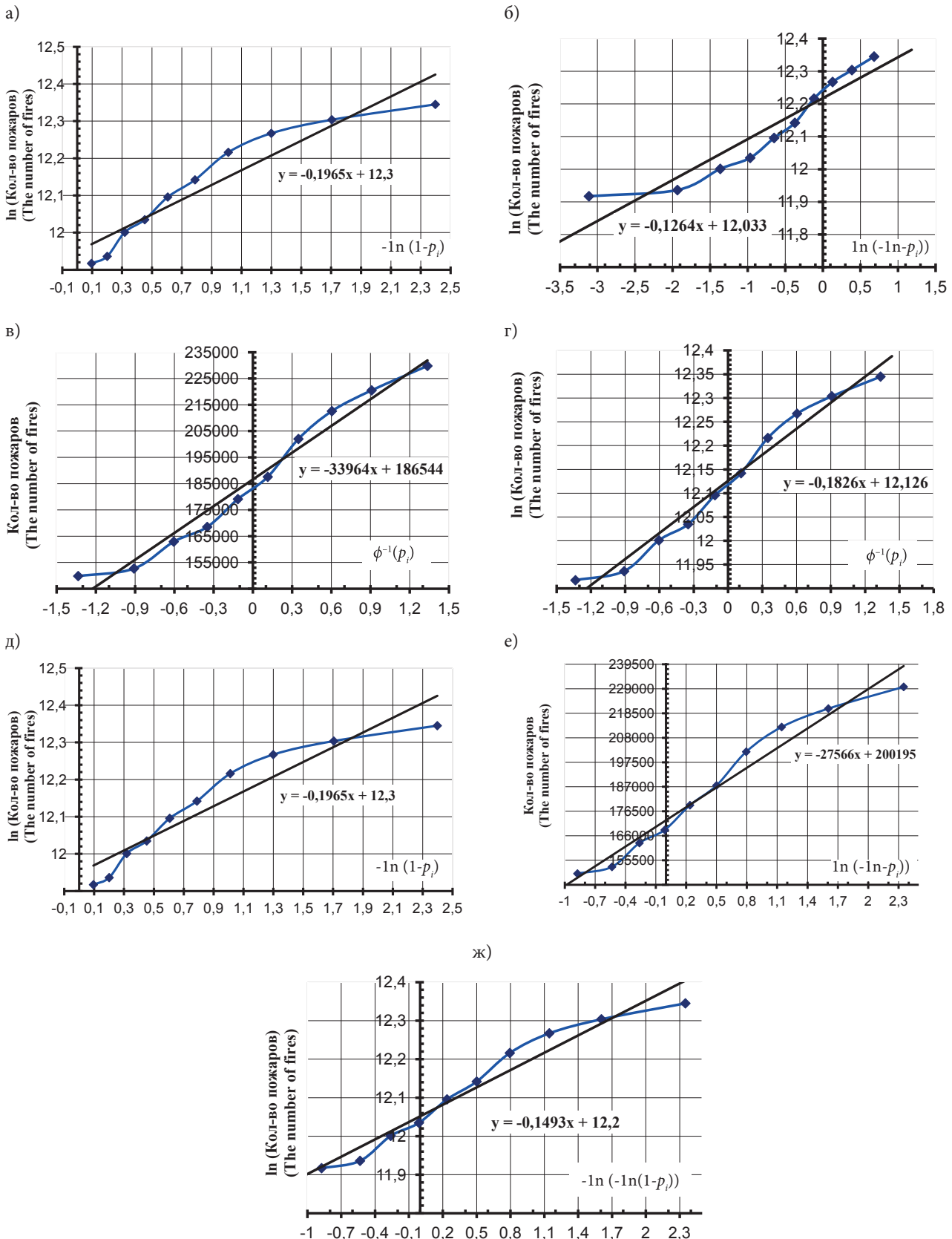


Рис. 1. Квантиль–диаграммы следующих распределений эмпирических данных о количестве пожаров за 2005-2014 г.г.: а) экспоненциального; б) Вейбулла; в) нормального; г) логнормального;

Fig. 1. Quantile diagram for the following distributions of empirical data on the frequency of fires in 2005-2014: а) exponential; б) Weibull; в) normal, г) lognormal; д) Pareto; е) Gumbel; ж) Frchet

Источник: Собственное исследование.
Source: Own elaboration.

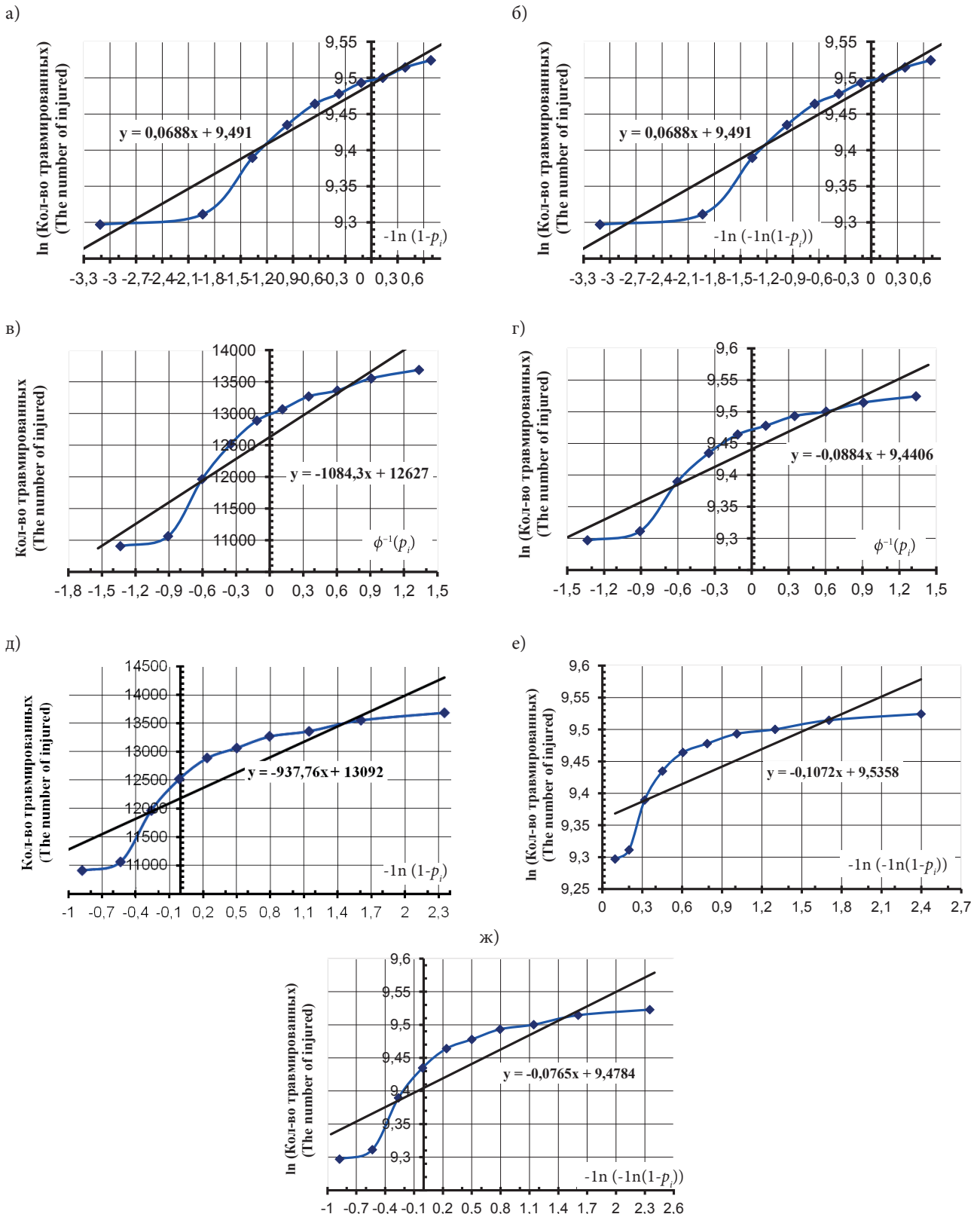


Рис. 2. Квантиль-диаграммы следующих распределений эмпирических данных о количестве травмированных за 2005-2014 г.г.: а) экспоненциального; б) Вейбулла; в) нормального; г) логнормального;

Fig. 2. Quantile diagram for the following distributions of empirical data on the number of injured in 2005-2014:

- а) exponential; б) Weibull; в) normal, г) lognormal;
- д) Pareto; е) Gumbel; ж) Frchet

Источник: Собственное исследование.

Source: Own elaboration.

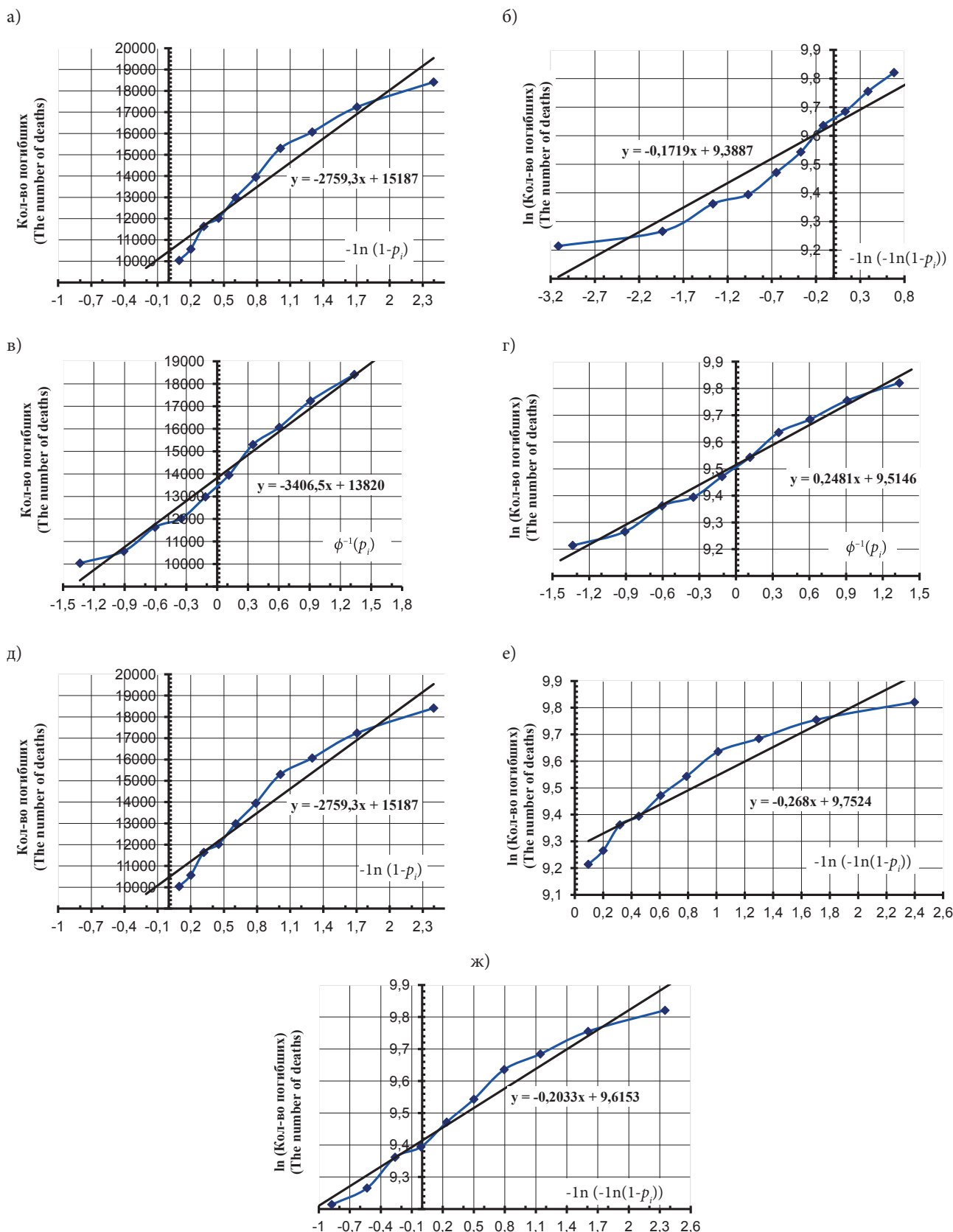


Рис. 3. Квантиль-диаграммы следующих распределений эмпирических данных по количеству погибших за 2005-2014 г.г.:

а) экспоненциального; б) Вейбулла; в) нормального; г) логнормального;

Fig. 3. Quantile diagram for the following distributions of empirical data on the frequency of deaths in 2005-2014:

а) exponential; б) Weibull; в) normal; г) lognormal;

д) Pareto; е) Gumbel; ж) Fréchet

Источник: Собственное исследование.

Source: Own elaboration.

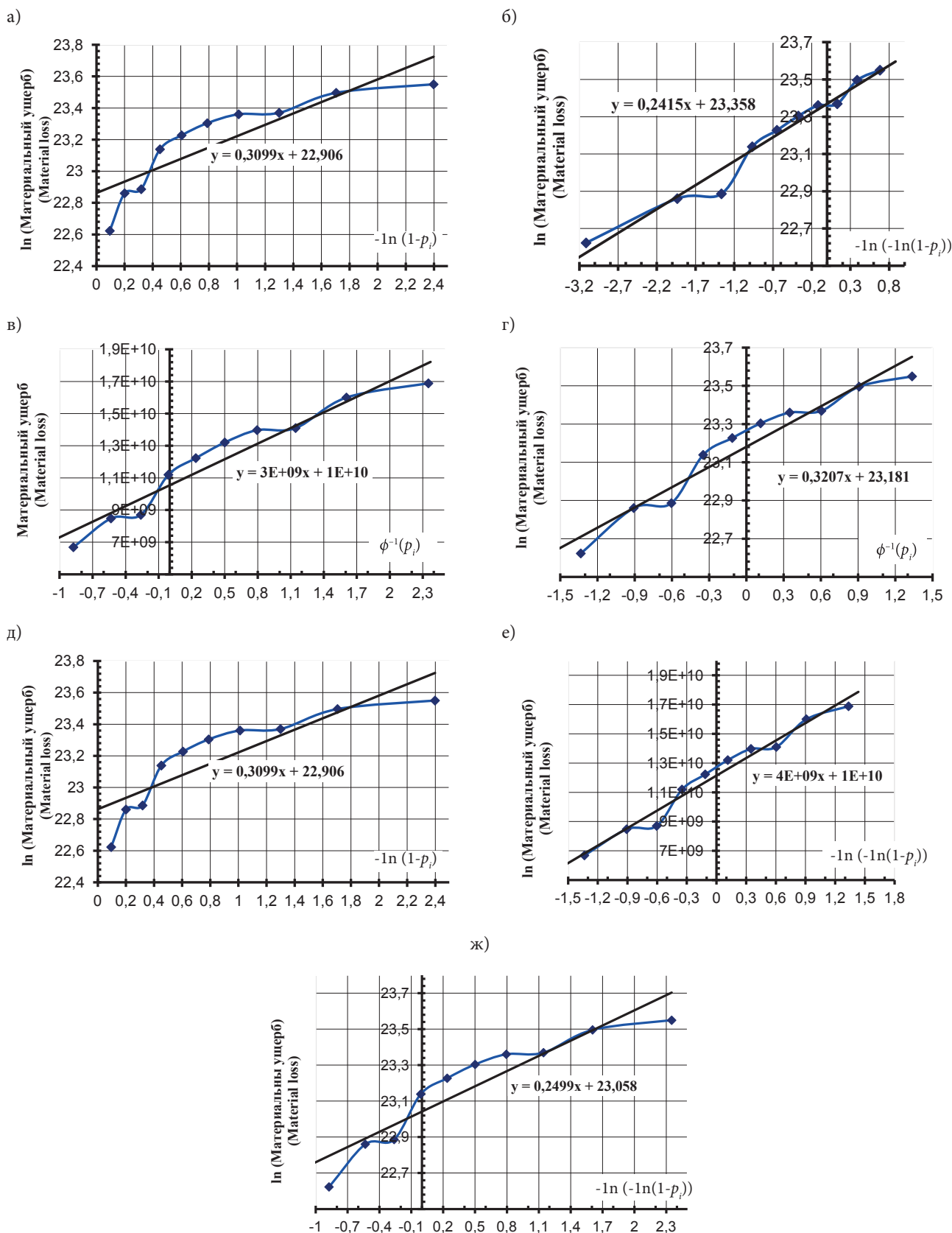


Рис. 4. Квантиль–диаграммы следующих распределений эмпирических данных по материальному ущербу за 2005–2014 г.г.: а) экспоненциального; б) Вейбулла; в) нормального; г) логнормального;

Fig. 4. Quantile diagram the following distributions of empirical data on material loss for 2005–2014: а) exponential; б) Weibull; в) normal, г) lognormal;

д) Pareto; е) Gumbel; ж) Fréchet

Источники: Собственное исследование. Source: Own elaboration.

3. Подведение итогов. Выводы

Выбор глобальной модели распределения данных по пожарам, материальному ущербу, травмированным и погибшим осуществлялся на основе минимизации среднеквадратичного отклонения эмпирических данных от линии тренда.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что в качестве распределений случайных величин, описывающих общее количество пожаров в Российской Федерации и количество погибших на них, могут быть выбраны нормальное и логнормальное распределения. Данные по количеству травмированных удовлетворительно описываются экспоненциальным распределением и распределением Вейбулла, по объему материального ущерба – нормальным и логнормальным распределениями, а также распределением Вейбулла.

Кроме того, на всех диаграммах прослеживается существование двух линейных ветвей (участков прямых), отличающихся углом наклона каждой к оси абсцисс и некоторой переходной областью между ними. Такое поведение квантиль-диаграмм свидетельствует об отсутствии единой статистической закономерности для чрезвычайной ситуации, связанной с пожарами. Количество погибших и травмированных, материальные потери от небольших по масштабу пожаров, которые удается быстро локализовать и ликвидировать, оказываются, как правило, незначительными. В то же время широкомасштабные пожары, в том числе и лесные, приводят к значительному материальному ущербу, имеющему совершенно другую статистическую закономерность, нежели от средних и небольших пожаров. Поэтому «перегиб» графика квазилинейной зависимости квантиль-диаграммы эмпирических данных по вышеуказанным параметрам может служить критерием экстремальной чрезвычайной ситуации, связанной с пожарами в Российской Федерации.

Так, по количеству пожаров в стране в качестве статистического критерия допустимого уровня может быть принято значение в диапазоне 190...195 тыс. пожаров (возгораний), по количеству травмированных на пожарах – 11...11,5 тыс. человек, погибших – 13,5...14 тыс. человек в год, по материальному ущербу – 9,7...10 млрд. руб. Годовое превышение этих значений будет свидетельствовать о необходимости проведения дополнительных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в стране. В частности, данные таблицы 1 за 2013 и 2014 годы свидетельствуют о том, что превышение указанных значений наблюдается

только по материальному ущербу от пожаров (13,2 млрд. руб. в 2013 году и 16 млрд. руб. в 2014 году), а, следовательно, основные усилия в плане обеспечения пожарной безопасности в стране должны быть направлены на подготовку пожарных подразделений, уменьшение времени их реагирования на каждый поступающий сигнал о возгорании, повышение их технической оснащенности и качественное выполнение возложенных на них задач, что, в конечном счете, обеспечит уменьшение материального ущерба от пожаров в целом по стране до приемлемого уровня.

Литература

- [1] Akimov V.A., Lesnyh V.V., Radaev N.N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tehnogennoy sferah*, Delovoy ekspress, Moscow 2004, 352.
- [2] Akimov V.A., Bykov A.A., Schetin E.Yu, *Vvedenie v statistiku ekstremal'nykh znacheniy i eeo prilozheniya*, FGU VNII GOCHS (FTS) MCHS Rossii, Moscow 2009, 524.
- [3] Finchenko Yu.A., Zavorotnyy A.G., *Obosnovanie kolichestvennogo statisticheskogo kriteriya ekstremal'nykh chrezvychaynykh situatsii dlya tehnogennoy sfery, svyazannykh s pozharami v Rossiyskoi Federatsii*, [w:] *Otcheot o nauchno-issledovatel'skoy rabote*, AGPS MCHS Rossii, Moscow 2012, 29.
- [4] Akimov V.A., Bykov A.A., Schetin E.Yu. *Razrabotka veroyatnostno – statisticheskikh metodov otsenki i prognozirovaniya riska vozniknoveniya chrezvychaynoy situatsii / Etap 2. Razrabotka i sovershenstvovanie prikladnykh metodov analiza riska krupnykh chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tehnogennoy proishojdeniya s ispol'zovaniem sovremennykh dostizheniy teorii veroyatnostey ekstremal'nykh sobytii*, Tsentr strategicheskikh issledovaniy grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, Moscow 2007, 180.
- [5] Zavorotnyy A.G., Kopnyshov S.L., Finchenko Yu.A., *Iskol'zovanie kvantil' – diagram dlya obosnovaniya veroyatnostnykh raspredeleniy parametrov chrezvychaynykh situatsiy, svyazannykh s pozharami v Rossiyskoy Federatsii*, "Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy", Issue 2, 2014, pp. 54-64.
- [6] Kopylov N.P. (ed.), *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2009 godu: Statisticheskij sbornik*, VNIIPPO, Moscow 2010, 135.
- [7] Gosudarstvennyy doklad O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tehnogennoy haraktera v 2005 (2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014) godu, FGU VNII GOCHS (FTS) MCHS Rossii, Moscow 2005 (2006-2014), 341.

* * *

Заворотный Александр Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры гражданской защиты (в составе учебно-научного комплекса гражданской защиты) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Копнышев Сергей Львович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник главный научный сотрудник научно-исследовательской группы безопасности в чрезвычайных ситуациях (в составе учебно-научного комплекса гражданской защиты) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Финченко Юлия Александровна – слушатель 5-го года обучения (учебная группа 3210) факультета пожарной безопасности Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.