

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

УДК 004.023

*Горбунов А.И., кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».*

### **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С БЫТОВЫМ ГАЗОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В РФ**

*Аннотация: В сети Интернет собраны статистические данные о количестве чрезвычайных происшествий с бытовыми газовыми приборами в РФ за последние девять лет. С использованием нескольких методик прогнозирования получены данные по изменению динамики возникновения чрезвычайных происшествий. В результате анализа прогнозов установлена тенденция к дальнейшему росту числа чрезвычайных происшествий в будущем.*

*Ключевые слова: чрезвычайное происшествие, статистические данные, динамический ряд, методы прогнозирования, прогноз*

Энергоносители в виде природного или сжиженного газа и электричества в квартирах и частных домовладениях населения РФ используют для бытовой техники на кухне, для водонагревательных приборов, а также для отопления жилья. При этом отопление жилья является наиболее энергозатратным и требует самого большого расхода энергии и финансовых затрат.

Сравнение потребительских качеств электрической энергии и природного газа дает однозначное преимущество электроэнергии в следствие высокой универсальности этого вида энергии. В тоже время экономические расчеты убедительно показывают, что стоимость электрической энергии может в 3-5 раз превышать стоимость природного газа при использовании для одних и тех же целей [1]. Сдерживающими факторами массового применения электроэнергии для энергоемких процессов в быту является также ее недостаточное производство и не соответствующее современным условиям уровня жизни состояние большинства внутридомовых электрических сетей как коммунального, так и частного жилого фонда.

В настоящий момент, по данным [2], природным газом снабжены 78 субъектов России; газифицировано 43 млн. квартир и домовладений в 48 тыс. населенных пунктов. Уровень газификации России по итогам 2021 г. составил 72%. В своем докладе А. Новак также отметил, что потенциал подключения к газу в России составляет около 2,5 млн. домохозяйств. Всего на сегодняшний день собрано 566 тыс. заявок на догазификацию. Также известно, что в июне 2020 года президент РФ В. Путин поручил Газпрому и ответственным ведомствам обеспечить завершение газификации регионов РФ в 2 этапа: к 2024 г. довести уровень газификации до 74,7 %, к 2030 г. – до 83 %.

Приведённые выше данные однозначно указывают, что вектор дальнейшего повышения бытового энергообеспечения населения РФ однозначно направлен на использование природного газа. В этих условиях на передний план выдвигаются проблемы, связанные с обеспечением безопасной эксплуатации населением РФ бытовых газовых приборов.

По сообщениям РИА Новости в [3], аварии в сфере газоснабжения входят в топ-3 аварий и инцидентов в ЖКХ, обгоняют их лишь происшествия в сфере водоснабжения и теплоснабжения. В прошлом году Минстрой запустил систему отслеживания проблем в ЖКХ. За год произошло более 80 тысяч происшествий (15 тысяч аварий и 65 тысяч менее серьезных инцидентов), а также 266 чрезвычайных ситуаций в связи с авариями на объектах ЖКХ и природными явлениями. Статистика по инцидентам с газовым оборудованием делится на утечки, хлопки (взрывы) и значительное число отравлений газом. При этом взрывы встречаются реже. Однако все перечисленные инциденты сопровождаются разрушениями и человеческими жертвами, а газовое оборудование наряду с лифтами, является объектом повышенной опасности в многоквартирных домах.

Несмотря на то, что в 2021 году в РФ обновлены правила пользования газом в быту [4], в 2021 и 2022 годах число чрезвычайных происшествий (ЧП), связанных с взрывами газа в быту, резко возросло. Авторами на основании данных из общедоступных источников информации в сети Интернет собраны

данные о числе таких ЧП за 2014-2022 годы. Следует отметить, что полученные данные формировались в результате обработки большого числа различных общедоступных сайтов, находящихся в сети Интернет. Это были данные с сайтов различных периодических изданий, научных статей, данные с сайтов МЧС и официальных сайтов государственных структур различного уровня [5-6]. Иногда, при описании обстоятельств и последствий ЧП, в различных источниках обнаруживались противоречивые данные о числе пострадавших, причинах ЧП и иных обстоятельствах. Поэтому в качестве объекта исследования в настоящей статье использованы данные о числе произошедших за год ЧП, количество которых после многочисленных повторных выборов установлено в соответствии с данными, приведенными в таблице 1.

При вводе и использовании статистических данных в дальнейшем принято условное обозначение, в соответствии с которым годы с 2014 по 2022 в таблице и на некоторых графиках обозначены цифрами 1-9 соответственно, что отражено в таблице 1.

Таблица 1

Годы	1 (2014)	2 (2015)	3 (2016)	4 (2017)	5 (2018)	6 (2019)	7 (2020)	8 (2021)	9 (2022)
Количество ЧП	19	13	15	17	17	13	17	32	34

Целью анализа собранных статистических данных является определение прогнозов изменения числа ЧП с бытовым газом на краткосрочном и среднесрочном временном горизонте на основе ретроспективного обзора. Исходя из динамики временного ряда, использованы как традиционные, так и альтернативные методы прогнозирования. Для более полной визуализации взаимных зависимостей числа ЧП от года, по данным таблицы 1 построен график (рис.1). Так как график состоит из двух сильно отличающихся временных этапов (с 2014 по 2020 и с 2020-2022 годов), на рисунке 1 также приведены линии трендов для интервалов 2014-2020 и 2014-2022 годов.

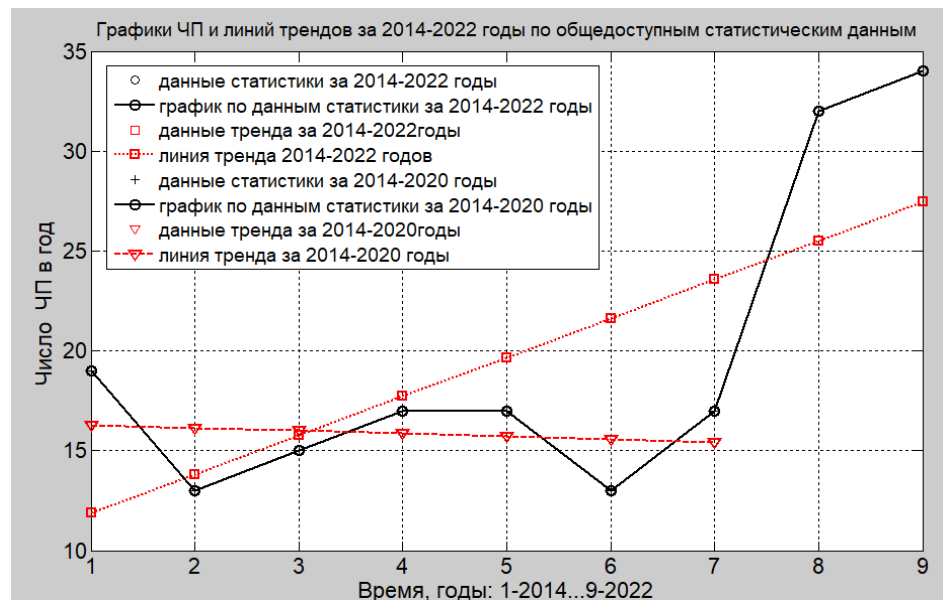


Рис. 1. Графики ЧП и линий трендов за 2014-2022 годы

Линия тренда для данных о ЧП за 2014-2022 годы показывает рост числа ЧП в будущем периоде (рис. 1). В тоже время линия тренда для данных за 2014-2020 указывает на незначительную тенденцию к уменьшению числа ЧП (рис. 1). Таким образом, на двух смежных участках графика происходит разворот линии тренда с небольшого, но стабильного снижения числа ЧП, на их резкое увеличение. Это может указывать на появление фактора или факторов, ранее (до 2021 года) не влиявших на формирование данных в анализируемом временном ряду.

$$r = \frac{n_{xy} \cdot \sum t \cdot n - (\sum t) \cdot (\sum n)}{\sqrt{[n_{xy} \cdot \sum t^2 - (\sum t)^2] \cdot [n_{xy} \cdot \sum n^2 - (\sum n)^2]}}; \quad (1)$$

Вычисленный по формуле (1) коэффициент корреляции Пирсона для данных за 2014-2022 годы имеет значение  $r = 0,682$ , которое указывает на слабую корреляционную связь, а также на то, что связь между коррелирующими признаками является прямой зависимостью. Это значит, что с увеличением значения последующих годов будет увеличиваться число ЧП. Таким образом, мы можем спрогнозировать на некоторое время вперед, что число ЧП по данным за 2014-2022 годы увеличится, однако информативность такого прогноза будет невысокой и очень приблизительной.

## **Прогнозирование с использованием электронных таблиц Excel**

Для уточнения значения краткосрочного прогноза по числу ЧП на 2023-2025 годы использована программа для работы с электронными таблицами Excel. Задействованная функция «ПРЕДСКАЗ» использует метод линейной регрессии, а ее уравнение имеет вид  $y=ax+b$ . Результаты вычисленных прогнозов на 2023-2025 годы на основании данных из таблицы 1 приведены в таблице 2.

Для уточнения полученного прогноза временной ряд из таблицы 1 также обработан в более поздней версии Excel 2016 с использованием двух функций. Первая функция «ПРЕДСКАЗ.ETS», которая вычисляет будущие спрогнозированные значения на основе исторических данных. Вторая функция ПРЕДСКАЗ.ETS.ДОВИНТЕРВАЛ вычисляет размах доверительного интервала коридор погрешности, в пределах которого с заданной вероятностью наш прогноз должен сбыться. Рассчитывает или прогнозирует будущее значение на основе существующих (ретроспективных) данных с использованием версии AAA алгоритма экспоненциального сглаживания (ETS). Таким образом в этой функции по используемому алгоритму возможно, кроме прогноза по имеющемуся временному ряду, осуществлять прогноз по оптимистическому и пессимистическому вариантам развития событий, т.е., вычислять максимально и минимально возможное значение числа ЧП (рис. 2). На рисунке 2 верхняя ветвь расчетов указывает на максимально возможное неблагоприятное развитие событий, средняя продолжает существующую динамику временного ряда, а нижняя ветвь прогнозирует возможное снижение числа ЧП. Полученные результаты также сведены в таблицу 2.

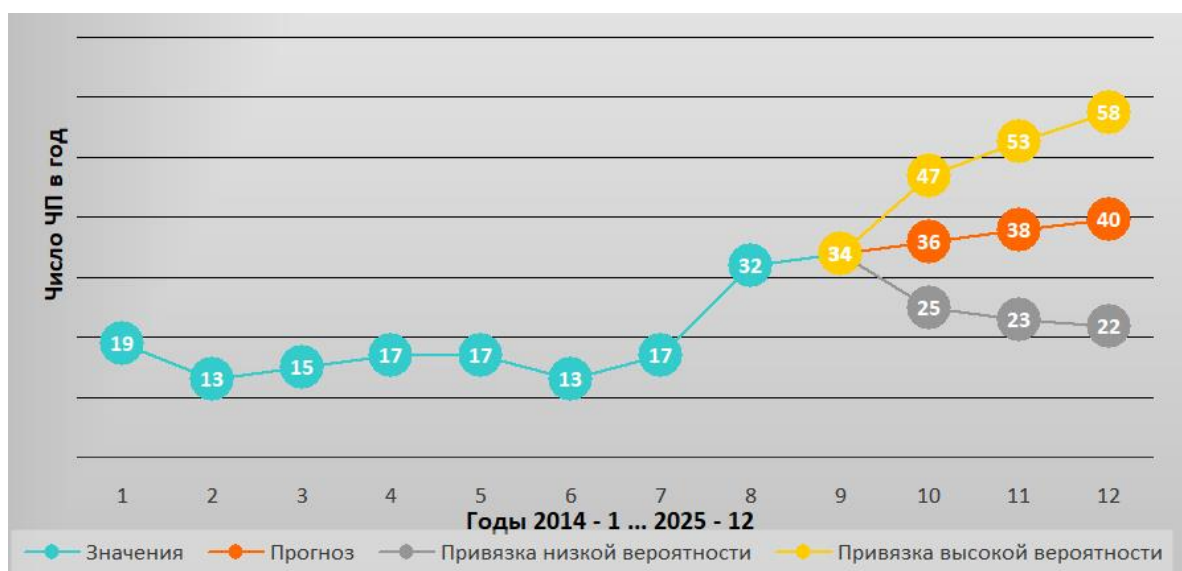


Рис. 2. Результаты прогнозов использованием функции «ПРЕДСКАЗ.ETS.ДОВИНТЕРВАЛ»

Вычисленные выше прогнозы основаны на использовании метода линейной регрессии данных временного ряда и метода экспоненциального сглаживания также известно, как метод ETS: ошибки (Errors), тренд (Trend), сезонный фактор (Seasonal). Для составления прогноза используются все имеющиеся в распоряжении данные временного ряда, но коэффициенты, определяющие вклад, убывают в прошлое по экспоненте, что отражается в названии метода. Результаты полученных прогнозов сведены в таблицу 2.

### Метод Хольта-Винтерса

С целью возможного устранения все той же неоднозначности вычисляемых прогнозов для обработки данных из таблицы 1 использован часто применяемый метод Хольта-Винтерса, учитывающий несколько составляющих прогноза [7,8]. Метод, носящий имена его авторов, является дальнейшим развитием и улучшением метода экспоненциального сглаживания временного ряда.

Более совершенный метод Хольта-Винтерса успешно вычисляет как среднесрочные, так и долгосрочные прогнозы, которые являются одной из целей описываемого анализа.

Рассчитывается экспоненциально-сглаженный ряд по формуле (2)

$$L_i = \frac{K \cdot y_i}{S_{i-s}} + (1+k) \cdot (L_{i-1} - T_{i-1}), \quad (2)$$

$S_{i-s}$  - коэффициент сезонности предыдущего периода. Сезонность в первом периоде равна 1.

На рисунке 3 приведены результаты среднесрочного прогнозирования по методу Хольта-Винтерса числа ЧП на 5 лет – с 2023 по 2027 годы, также сведенные в таблицу 2.

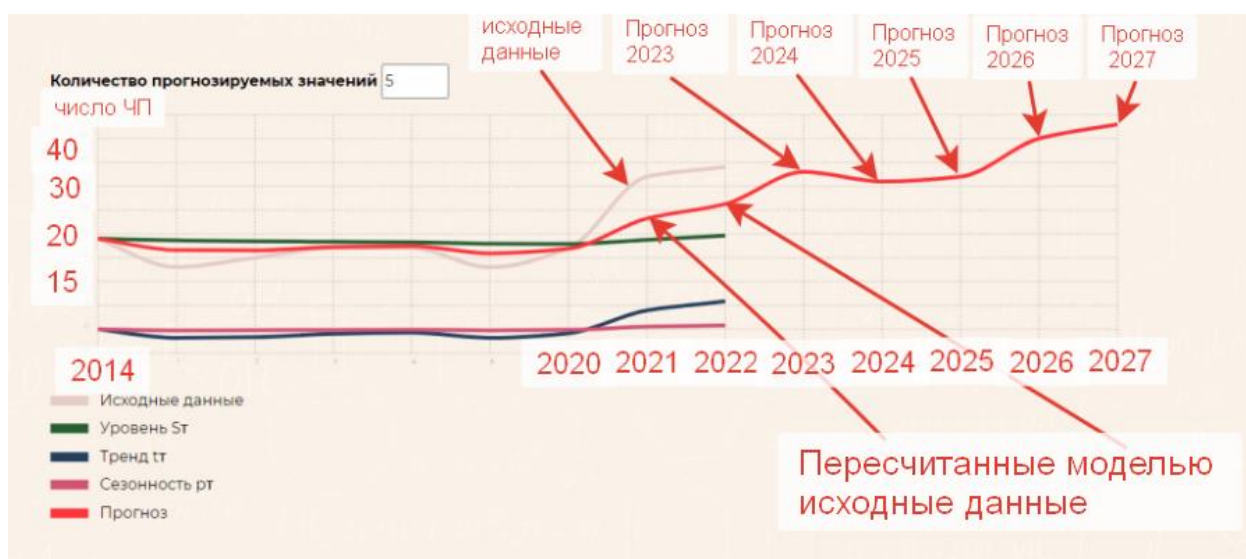


Рис. 3. Результаты прогнозирования по методу Хольта-Винтерса

Данный метод позволяет строить прогнозы на достаточно большой промежуток времени. Поскольку он учитывает несколько факторов прогнозирования, то он является более точным и в настоящей работе использован для прогнозирования на 5 лет.

Применение элементов искусственного интеллекта для прогнозирования численности ЧП с бытовым газом.

С целью подтверждения путем сравнительного анализа адекватности результатов прогнозирования, с использованием описанных выше методов, осуществлено прогнозирование числа ЧП с использованием таких элементов искусственного интеллекта как теория нечетких множеств и алгоритмы нечеткого вывода.

В пакете компьютерной математики MATLAB имеется пакет расширения FLT (Fuzzy Logic Toolbox), предназначенный для разработки нечетких моделей и адаптивных нейронных сетей (ANFIS) [9]. Одной из особенностей алгоритмов нечеткого вывода Мамдани и Такаги-Сугено [10] является возможность их использования в качестве универсальных аппроксиматоров, способных отобразить с требуемой точностью любую функциональную зависимость.

Еще одной особенностью нечетких моделей является возможность работать с нечеткими числами (данными), которые выражаются в форме нечетких множеств. Собранные и анализируемые статистические данные о количестве ЧП не являются точными числами, учитывающими все происшедшие ЧП. В данных такого вида обязательно присутствует нечеткость, связанная со всевозможного вида как информационными ошибками, так и ошибками учета. Именно нечеткость и размытость данных является главным препятствием при использовании для прогнозирования классических численных методов.

Для вычисления прогноза числа ЧП на 2023 год с использованием алгоритма нечеткого вывода Такаги-Сугено использован имеющийся временной ряд (таблица 1). Модель имеет структуру SISO, в которой одна входная и одна выходная переменная. Входная переменная содержит 37 значений времени в форме нечетких треугольных чисел, а выходная переменная содержит 37 констант, описывающих зависимость выходных параметров от времени. График модели с результатом прогнозирования приведен на рисунке 4, а результат отражен в таблице 2.

Как следует из рисунка 4, прогноз с использованием алгоритма нечеткого вывода Такаги-Сугено указывает на повышение числа ЧП в 2023 году до 36 случаев.



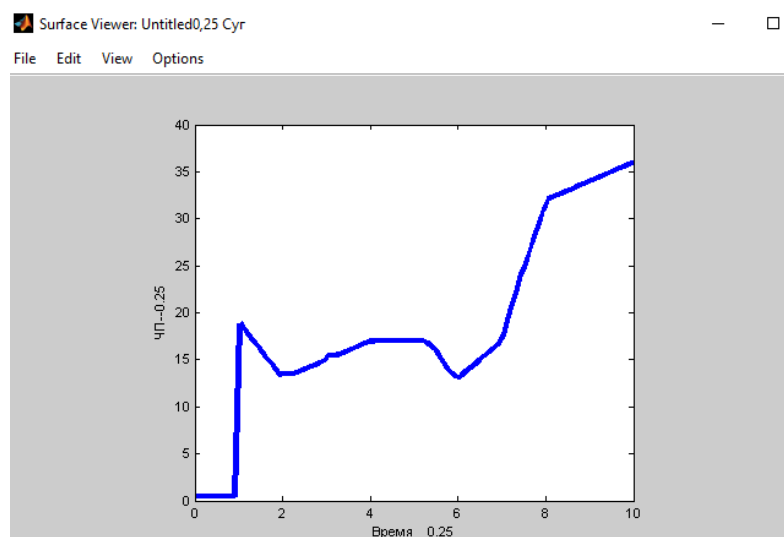


Рис. 4. Результат прогнозирования с использованием алгоритма нечеткого вывода Такги-Сугено

Таблица 2

Год		Использованная функция и прогноз					
Модель ный	календа рный	Excel, «Предсказ»	Excel, «Предсказ.ETS.ДОВ ИНТЕРВАЛ»			Хольт- Винтерс	T-S,
			min	норма	max		
10	2023	29	25	36	47	33	36
11	2024	31	23	38	53	31	-
12	2025	33	22	40	58	32	-
13	2026	-	-	-	-	40	-
14	2027	-	-	-	-	43	-

#### Анализ результатов прогнозирования.

В процессе прогнозирования использованы различные методики, показавшие незначительно отличающиеся или одинаковые результаты. Все результаты предсказаний показывают либо незначительное первоначальное снижение числа ЧП в 2023-2025 годах с последующим увеличением (функция «ПРЕДСКАЗ», метод Хольта-Винтерса) либо непосредственное нарастание с 2023 года (функция «ПРЕДСКАЗ.ETS.ДОВИНТЕРВАЛ», алгоритм нечеткого

вывода T-S). Однако все методы прогнозирования неизменно указывают на дальнейшее увеличение числа ЧП как в краткосрочной, так и в среднесрочной перспективе.

Особое внимание необходимо обратить на результаты прогнозирования по методу Хольта-Винтерса. Как следует из рисунка 3, прогнозная модель понизила значения имеющихся в динамическом ряду статистических данных за 2021 и 2022 годы в количестве 32 и 34 значения соответственно, до значений 23 и 26 ЧП соответственно. Этот факт свидетельствует о том, что в рассматриваемом случае статистические данные не вписываются в прогнозируемый динамический ряд по предваряющим интервалам времени за 2014-2020 годы и использующийся алгоритм прогнозирования. Следовательно, статистические данные за 2021-2022 годы сформированы не по закономерностям статистики, а под влиянием факторов, которые остались за рамками настоящего исследования. Этот факт должен привлечь внимание всех заинтересованных структур, прямо или косвенно имеющих отношение к снабжению населения РФ бытовым газом и контролирующим безопасную эксплуатацию бытового газового оборудования.

### **Список использованных источников**

1. Что лучше использовать в быту: газ или электричество [Электронный ресурс] // URL: <https://blog.miele.ru/sravnivaem/chto-luchshe-ispolzovat-v-bytu-gaz-ili-elektrichestvo/> (дата обращения: 04.05.2023 г.).
2. ИА Neftegaz.RU., (ИА Neftegaz.RU) [Электронный ресурс] // URL: <https://neftegaz.ru/news/gazoraspredelenie/720482-a-novak-uroven-gazifikatsii-rossii-po-itogam-2021-g-sostavil-72/> (дата обращения: 10.05.2023 г.).
3. Аварии с газом на третьем месте среди происшествий в ЖКХ [Электронный ресурс] // URL: <https://rg.ru/2021/09/08/avarii-s-gazom-na-tretem-meste-sredi-proisshestvij-v-zhkh.html> (дата обращения: 10.05.2023 г.).

4. Обновлены правила пользования газом в быту. [Электронный ресурс] // <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2021/november/67314/>
  5. Статистика произошедших взрывов бытового газа [Электронный ресурс] // <https://packo.ru/novosti/statistika-proizoshedshih-vzryivov-byitovogo-gaza>
  6. Хроника взрывов из-за газа по всей стране. Коротко объясняем, что случилось за сутки. [Электронный ресурс] // <https://v1.ru/text/world/2022/12/05/71872454/> (дата обращения: 10.05.2023 г.).
  7. А. С. Поздняков. Применение метода Хольта-Винтерса при анализе и программировании динамики временных рядов. [Электронный ресурс] // <https://masters.donntu.ru/2017/fknt/vudvud/library/article6.pdf> (дата обращения: 10.05.2023 г.).
  - Прогнозирование временных рядов. Электронный учебник. [Электронный ресурс] // <https://k-tree.ru/tools/statistics/trend.php> (дата обращения: 10.05.2023 г.).
  9. Дьяконов В.П. MATLAB R2006/2007/2008+Simulink5/6/7. Основы применения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 800 с.
  10. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
- 

*Gorbunov A.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Luhansk Vladimir Dahl State University»*

#### ANALYSIS OF THE DYNAMICS AND PREDICTION OF EMERGENCY INCIDENTS WITH HOUSEHOLD GAS EQUIPMENT IN THE RUSSIAN FEDERATION

*Annotation: The Internet has collected statistical data on the number of accidents with household gas appliances in the Russian Federation over the past nine years. Using several forecasting methods, data on changes in the dynamics of occurrence of emergencies were obtained. As a result of the analysis of forecasts, a trend has been established for a further increase in the number of emergencies in the future.*

*Keywords: Emergency, statistical data, time series, forecasting methods, forecast*