

УДК 614.8:519.2

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.002](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.002)

Математико-статистическая модель прогнозирования количества пожаров для использования в системе МЧС России

С.В. Репин¹, П.Б. Болдыревский², Л.А. Кистанова³✉, Г.Н. Лахвицкий¹

¹Главное управление МЧС России по Нижегородской области,
Нижний Новгород, Российская Федерация

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

³Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород,
Российская Федерация
lakistanova@mail.ru✉

Резюме: Проблема составления и анализа прогнозов количества пожаров находится в центре внимания управления подразделениями надзорной деятельности МЧС России, так как связана с безопасностью жизнедеятельности человека и, соответственно, с задачами решения этой проблемы, а значит с работой планирования и оптимизации кадрового состава подразделений. При этом из общего числа контрольных мероприятий, проводимых органами пожарного надзора около 30 % приходится на плановые проверки. В статье показана связь процесса прогнозирования динамики пожаров с плановыми проверками и определена величина лага или запаздывания проведения плановых проверок по отношению к количеству пожаров. Математико-статистическая модель выполнена на примере статистических данных по количеству пожаров в Нижегородской области и Российской Федерации с 2010 по 2020 годы. Для постановки и решения данной задачи использовался математический аппарат теории временных рядов, в частности, метод с распределенными лагами – метод Алмон. Результаты исследований позволяют сделать заключение о том, что математические модели с распределенными лагами, выполненные по методу Алмон, могут быть использованы для прогнозирования количества пожаров в системе МЧС России, а также для составления графиков плановых проверок государственных противопожарных служб МЧС России и выработки предложений по оптимизации кадрового состава подразделений МЧС.

Ключевые слова: МЧС России, количество пожаров, плановые проверки, математико-статистическая модель прогнозирования, временные ряды, модель с распределенными лагами, метод Алмон

Для цитирования: Репин С.В., Болдыревский П.Б., Кистанова Л.А., Лахвицкий Г.Н. Математико-статистическая модель прогнозирования количества пожаров для использования в системе МЧС России. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1091> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.002

Mathematical and statistical fire incidence forecasting model for use in the EMERCOM system of Russia

S.V. Repin¹, P.B. Boldyrevskii², L.A. Kistanova³✉, G.N. Lakhvitsky¹

¹Main Directorate of the Ministry of Emergency of the Russian Federation in the Nizhny
Novgorod region, Russian Federation

²National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Nizhny
Novgorod, Russian Federation

³*Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russian Federation
lakistanova@mail.ru*

Abstract: Making and analysing fire incidence forecasts is the issue which is in the focus of the attention of the supervisory activity directorate of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters because it concerns safety of human life and, thus, the tasks of solving this problem, and therefore planning and optimization of unit personnel. At the same time, about 30% of the control measures total number, carried out by fire supervision authorities, pertained to scheduled inspections. This article demonstrates the correlation between fire dynamics forecasting and scheduled inspections and determines the magnitude of the lag or delay in conducting scheduled inspections in relation to the number of fires. The mathematical and statistical model is based on the example of statistical data on the fire incidence in the Nizhny Novgorod region and the Russian Federation from 2010 to 2020. To define and address this problem, the mathematical apparatus of time series theory was used, in particular, the method with distributed lags - the Almon technique. The findings allow us to conclude that mathematical models with distributed lags, performed by means of the Almon technique, can be employed to predict fire incidence in the EMERCOM of Russia system, as well as to schedule inspections of the state fire services of the EMERCOM of Russia and formulate proposals for optimizing the personnel of the EMERCOM units.

Keywords: EMERCOM of Russia, fire incidence, scheduled inspections, mathematical and statistical forecasting model, time series, model with distributed lags, the Almon technique

For citation: Repin S.V., Boldyrevsky P.B., Kistanova L.A., Lokhvitsky G. N. Mathematical and statistical fire incidence forecasting model for use in the EMERCOM system of Russia. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1091> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.002 (In Russ.).

Введение

Обязательность в формировании прогнозов количества пожаров продиктована разрешением проблем в проектировании штата ГПС МЧС России и организации системы несения их службы, а также необходимостью планирования мероприятий с целью профилактики и избежания пожаров [1].

Предсказание пожаров – сложный процесс, так как при этом требуется учитывать факторы, воздействующие на тренд прогноза годом или даже несколькими годами раньше. Проведение плановых проверок и выполнение предписаний являются факторами, непосредственно воздействующими на оценку прогноза пожаров [2]. Для конкретизации многофакторной зависимости и анализа необходимо оценить и построить достоверный прогнозный тренд. Как правило для такого прогноза используется математический аппарат теории временных рядов [3].

В теории временных рядов при прогнозировании пожаров абстрагируются от физической составляющей пожара и весь временной ряд рассматривают как один объект за установленный временной период. Разрабатываются такие модели, которые бы учитывали временные характеристики и динамику изменения показателей, что позволило бы предсказать будущие значения на основании прошедших [4]. В большинстве случаев ограниченный объем наблюдений, и непостоянная структура временного ряда сдерживают выполнение поставленной цели. Следовательно, задача подобрать математико-статистическую модель, описывающую временной ряд, усложняется.

В нашей ситуации, исходя из предмодельной стадии анализа, основная цель математико-статистической модели заключается в том, чтобы отобразить процесс запаздывания проведения плановых проверок и выполнения предписаний по отношению к пожарам и загораниям. Этот процесс может быть представлен при помощи модели с лаговыми переменными.

В представленной статье проведены исследования по разработке и апробации динамической математической модели прогнозирования количества пожаров, находящихся во взаимосвязи с плановыми проверками, и применимости метода распределенных лагов Алмон с учетом динамики этого процесса. Для проведенных исследований применялся инструментарий математико-статистического аппарата [5].

Материалы и методы

Такой фактор, как влияние плановых проверок на статистику пожаров вроде бы не должен опровергаться. Однако анализ динамики взаимодействия данных временных рядов не дает однозначного ответа, что может быть связано с проблемами при проведении плановых проверок. Если проверки проводятся должным образом, то количество пожаров должно уменьшаться и за счет накопительного процесса отразиться и в будущих периодах. Соответственно, прогнозируя количество пожаров в будущем периоде, необходимо иметь достоверные данные на момент исследования и в прошедшие моменты времени.

Предыдущие исследования, в которых анализировались данные с реакцией запаздывания по отношению к возмущающему воздействию, привели к мысли, что в данных исследованиях необходимо выбирать модели временных рядов с лаговыми переменными, где промежуток времени между воздействием и откликом будет зависеть от величины лага [6].

Модель с распределенными лагами, содержащую в качестве лаговых переменных факторные или независимые переменные $X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-k}$, можно представить в следующем виде:

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \beta_k X_{t-k} + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Во временных рядах лаг показывает, насколько зависимы уровни временного ряда, то есть определяет порядок коэффициента автокорреляции. При взаимосвязи между рядами наблюдений $x_1 \dots x_{n-1}$ и $x_2 \dots x_n$, и присутствии лага в размере единице имеем коэффициент автокорреляции первого порядка. Коэффициент автокорреляции второго порядка наблюдается, когда лаг равен двум и т.д.

При оценивании неизвестных коэффициентов важное значение имеет структура лага, так как исходя из неё выбираются способы оценивания: в основном это методы Алмон и Койка. В них выполняется преобразование начальной модели с распределенным лагом к новой модели, где оценивание неизвестных параметров выполняется при использовании метода инструментальных переменных.

Метод Койка используется тогда, когда распределенный лаг представлен беспредельной величиной наибольшего лага, в котором коэффициенты при лаговых переменных убывают. На практике это не всегда осуществляется. Наблюдаются ситуации, когда по истечению времени на третий или четвертый год влияние величины лагового фактора на зависимую переменную в разы больше, чем предыдущие воздействия первого и второго года. Соответствующие изменения лаговых объясняющих переменных позволяют довольно точно имитировать распределенные лаги Алмон [6].

Заметим, что, следуя алгоритму Алмон, сначала необходимо сформировать количество лагов k . Наиболее распространенный способ нахождения этого количества заключается в первоначальном подборе, начиная с наиболее подходящего максимального, постепенно его уменьшая. Далее, после установления количества лагов, подбирают степень полинома и затем выполняют расчет уравнения Алмон. Применяя

данный алгоритм необходимо помнить о недостатке метода, который заключается в том, что существует взаимная корреляция переменных Z , повышающаяся с ростом степени полинома [6].

Для того, чтобы выяснить, как влияют плановые проверки на количество пожаров, были проанализированы сведения о количестве пожаров и количестве плановых проверок, взятые из ежегодных статистических сборников «Пожары и пожарная безопасность» Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России [7-10]. Данные по плановым проверкам были собраны с сайтов МЧС России и Главного управления МЧС России по Нижегородской области, а также с сайтов специальных прокуратур.

Проведенные исследования динамики количества пожаров по Нижегородской области с 2010 по 2020 годы [7-10] позволили нам сделать вывод, что наблюдается реакция запаздывания изменения количества пожаров (Y) на изменение плановых проверок (X), то есть в корреляции этих переменных есть временной лаг.

Присутствие временного запаздывания может складываться из различных факторов, начиная от естественного фактора, порождаемого профессиональной деятельностью (не могут результаты плановых проверок мгновенно отражаться на статистике пожаров) до факторов, связанных с нарушением выполнения предписаний. Для уменьшения риска возникновения пожаров в настоящее время плановые проверки осуществляются с учетом риск-ориентированного подхода, но это не снижает напряженности ситуации, так как количество пожаров не уменьшается и до сих пор присутствует на пожарах гибель людей.

Значение временного промежутка определено нами величиной в три года. В качестве модели, описывающей взаимосвязь количества пожаров от плановых проверок, принимаем регрессионную модель с распределенным лагом заданной продолжительности с полиномиальным законом распределения.

Модель с распределенным лагом, величина которого равна трем, и структура его описывается полиномиальным законом распределения и представлена следующим образом:

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \beta_3 X_{t-3} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где $\alpha, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – неизвестные параметры уравнения; $X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}$ – лаговые значения переменной X_t ; ε_t – случайная ошибка.

Параметр β_j от величины лага j для полинома второй степени рассчитывается по методу Алмон по следующей формуле:

$$\beta_j = C_0 + C_1 j + C_2 j^2, \quad (3)$$

где $j = 0, 1, 2, 3$.

Преобразуем данные в переменные Z_0, Z_1, Z_2 :

$$Z_0 = X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + X_{t-3}; \quad (4)$$

$$Z_1 = X_{t-1} + 2X_{t-2} + 3X_{t-3}; \quad (5)$$

$$Z_2 = X_{t-1} + 4X_{t-2} + 9X_{t-3}. \quad (6)$$

В полученном уравнении:

$$Y_t = \alpha + C_0 Z_0 + C_1 Z_1 + C_2 Z_2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

параметры оцениваем с использованием метода наименьших квадратов. Значения переменных Z_0, Z_1, Z_2 отобразим в Таблице 1.

Таблица 1 – Количество пожаров и проведенных плановых проверок в Нижегородской области, 2010-2020 гг.

Table 1 – Number of fires and scheduled inspections in the Nizhny Novgorod region, 2010-2020

Годы	t	Y	X	Z_0	Z_1	Z_2
2010	1	8925	6021			
2011	2	6016	5819			
2012	3	5404	6920			
2013	4	5035	8103	26863,0	36621,0	84385,0
2014	5	6143	3791	24633,0	39400,0	88154,0
2015	6	5172	4191	23005,0	40757,0	98483,0
2016	7	4687	2350	18435,0	36082,0	92282,0
2017	8	4245	2540	12872,0	22105,0	53233,0
2018	9	4501	2246	11327,0	19813,0	49659,0
2019	10	5346	5283	12419,0	14376,0	33556,0
2020	11	5424	745	10814,0	17395,0	37127,0

Решение выполнено в электронной Таблице MS Excel.

Результаты

Представим результаты регрессионной статистики (Рисунок 1, Рисунок 2) в виде сравнительного анализа уравнений двух моделей. В уравнение первой модели войдут все переменные Z_0, Z_1, Z_2 . Параметры уравнения второй модели будут складываться из переменных Z_1, Z_2 . Во втором варианте не будет учитываться воздействие текущего года, а будут учитываться только предыдущие годы.

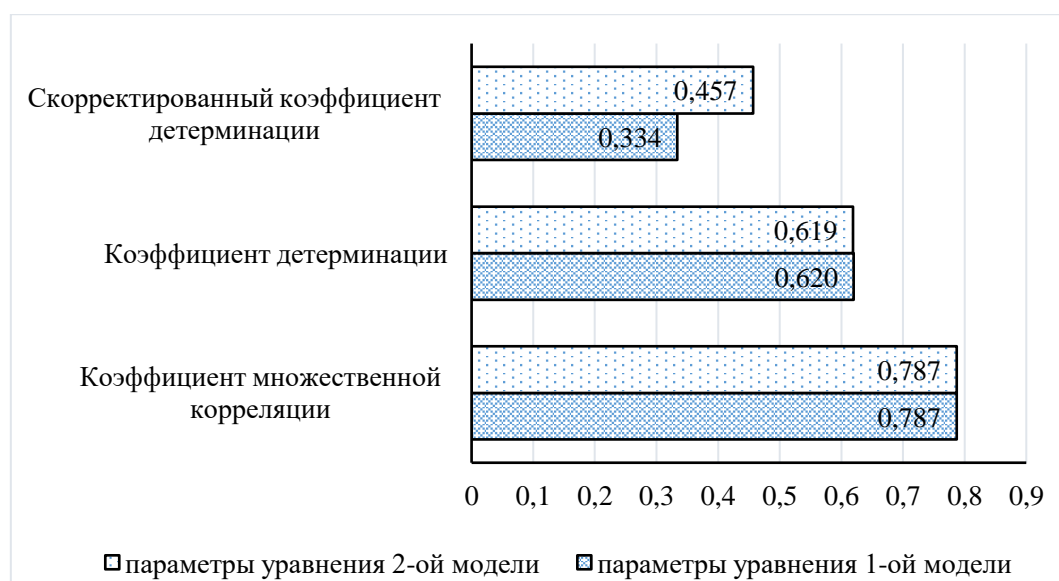


Рисунок 1 – Корреляционный анализ
Figure 1 – Correlation analysis

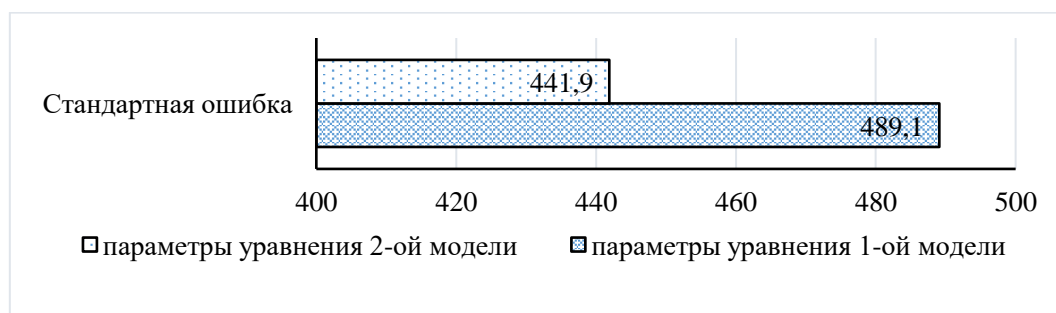


Рисунок 2 – Стандартная ошибка
Figure 2 - Standard error

Корреляционный анализ параметров уравнения 1-ой модели

$$Y_t = 4614 - 0,0265 Z_0 + 0,3266 Z_1 - 0,1241 Z_2 \quad (8)$$

и уравнения 2-ой модели

$$Y_t = 4570 + 0,285 Z_1 - 0,113 Z_2 \quad (9)$$

свидетельствует о том, параметры второго уравнения имеют более качественные характеристики: скорректированный коэффициент детерминации во втором варианте больше на 0,123, то есть на 12,3 %; стандартная ошибка меньше на 47,2.

Рассмотрим дисперсионный анализ двух моделей (Таблица 2) и определим значимость коэффициентов первого и второго уравнений регрессии (Таблица 3).

Таблица 2 – Дисперсионный анализ

Table 3 – Analysis of variance

Источники вариации	Число степеней свободы		Сумма квадратов		Средний квадрат		Критерий Фишера		Значимость	
	df_1	df_2	SS_1	SS_2	MS_1	MS_2	F_1	F_2	F_1	F_2
Регрессия	3	2	155880 0	153897 7	51960 0	76948 8	3,27	4,56	0,23	0,09
Остаток	4	5	956719	976542	23918 0	19530 8				
Итого	7	7	251551 9	251551 9						

Таблица 3 – Значение коэффициентов уравнений

Table 3 – The value of equation coefficients

Коэффициенты	Значение коэффициентов		Стандартная ошибка		t-статистика		P-значение	
α	4614	4570	533,382	462,423	8,6504	9,884	0,001	0,0002
C_0	-0,0265	-	0,0919	-	-0,2879	-	0,7877	-
C_1	0,3266	0,285	0,1845	0,1035	1,7699	2,7523	0,1515	0,0402
C_2	-0,1241	-0,113	0,0615	0,0427	-2,0197	-2,6403	0,1135	0,0460

На основании дисперсионного анализа можно сделать выводы, что вторая модель является более значимой, имеет лучший коэффициент Фишера и ее коэффициенты при независимых переменных тоже значимы. В первой модели коэффициент при переменной Z_0 является статистически незначимым и F -критерий Фишера говорит о статистической незначимости 1-го уравнения регрессии.

На основании найденных коэффициентов при переменных Z_1, Z_2 и формулы (3) выполним расчет параметров исходной модели $\beta_1, \beta_2, \beta_3$.

Таким образом, модель с распределенным лагом будет иметь вид:

$$Y_t = 4570 + 0,172 X_{t-1} + 0,119 X_{t-2} - 0,160 X_{t-3}. \quad (10)$$

Ошибка аппроксимации модели составляет 6 %, автокорреляция в остатках отсутствует.

Построенную модель можно применять для прогноза количества пожаров по Нижегородской области, при этом предварительно рассчитывается или определяется значение плановых проверок на данный момент времени, а затем выполняется расчет зависимой переменной Y_t . Расчетные прогнозные значения представлены в Таблице 4.

Качество прогноза будет зависеть от достоверности представленных статистических данных.

Таблица 4 – Прогноз количества пожаров по Нижегородской области с учетом лага плановых проверок

Table 4 – Forecast of fire incidence in the Nizhny Novgorod region with reference to the lag of scheduled inspections

Годы	№ года для расчета тренда прогноза	Пожары	Всего проведено плановых проверок	Прогноз пожаров
	t	Y	X	Y_t
2010		8925	6021	
2011		6016	5819	
2012		5404	6920	
2013	1	5035	8103	5486,04
2014	2	6143	3791	5852,75
2015	3	5172	4191	5074,09
2016	4	4687	2350	4441,45
2017	5	4245	2540	4864,05
2018	6	4501	2246	4614,12
2019	7	5346	5283	4881,53
2020	8	5424	745	5338,98
2021	9		5234	4965,29
2022	10		10468	4712,20
2023	11		5234	6874,21
2024	12		5234	5873,71
2025	13		10468	4412,64

Количество оптимальных плановых проверок (10468) было определено на основании предварительных расчетов и, если это количество будет выполняться, то

количество пожаров через несколько лет должно значительно уменьшиться, что подтверждают представленные расчеты в таблице 4. Сложность прогноза в том, что уменьшение количества плановых проверок начинает сказываться не сразу, а через определенное время.

Однако при заданных исходных данных достоверный прогноз возможно получить лишь на три года вперед, поэтому для долгосрочного прогноза необходимо перейти к регрессионной модели [11] в виде тренда, полученного по модели с распределенными лагами.

Возможное увеличение количества пожаров в 2023 году объясняется малым количеством плановых проверок в 2020 году. Тренд по прогнозу количества пожаров по расчетным данным представлен на Рисунке 3.

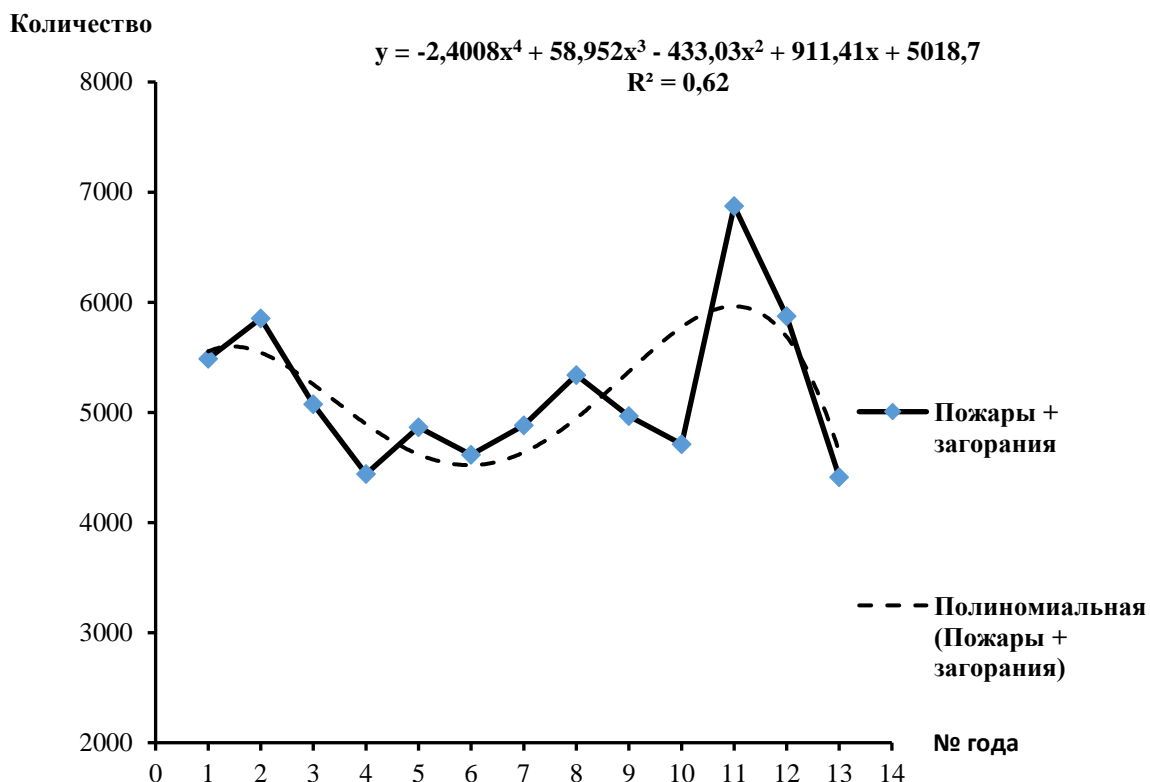


Рисунок 3 – Прогноз динамики количества пожаров по Нижегородской области с учетом лага плановых проверок

Figure 3 – Forecast of the fire incidence dynamics in the Nizhny Novgorod region with reference to the lag of scheduled inspections

Обсуждение

Проведенные исследования подтверждают, что между количеством плановых проверок и динамикой пожаров как в отдельном субъекте, например, в Нижегородской области, так и Российской Федерации существует взаимосвязь и наблюдается определенное отставание в воздействии фактора (X) на результат (Y), что подтверждают математические модели с распределенными лагами.

В результате исследований по данным Российской Федерации с 2010 по 2020 годы получена модель с распределенным лагом, которая имеет следующий вид:

$$Y_t = 303094 + 1,035 X_t + 0,713 X_{t-1} + 0,332 X_{t-2} . \quad (11)$$

Коэффициенты модели являются статистически значимыми. $R^2 = 0,88$ (коэффициент детерминации). Автокорреляция в остатках отсутствует, ошибка аппроксимации небольшая и составляет 2,8 %. Лаг в данной модели составляет три года.

Компьютерное моделирование проведено с использованием инструментария электронной Таблицы MS Excel и пакета прикладных программ «STATISTICA».

Заключение

Профилактические мероприятия и устранение выявленных нарушений пожарной безопасности по результатам проведения плановых проверок, в том числе, связанных с возможной причиной возникновения пожара, способствуют уменьшению как бытовых пожаров, так и техногенных (промышленных) и даже природных [12]. Нами определена зависимость между пожарами и проведенными плановыми проверками длиной в три года. Но это может быть не всегда, иногда лаг может быть длиной от двух до четырех лет. Эти факторы необходимо учитывать при прогнозе пожаров.

Представленные в работе результаты показывают, что математические модели с распределенными лагами, полученные по методу Алмон, могут быть использованы для составления графика плановых проверок подразделений ГПС МЧС России и, как следствие, для определения оптимального кадрового состава подразделения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Батуро А.Н. Прогнозирование количества пожаров в регионе на основе теории временных рядов. *Технологии гражданской безопасности*. 2013;10(3):84–88.
2. Кудрявцев В.Е., Кучаков Р.К. Помогают ли плановые проверки снизить число пожаров? *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2019;28(2):81–89. Доступно по: <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.81-89> (дата обращения: 27.10.2021).
3. Пранов Б.М. О некоторых подходах к моделированию и прогнозированию временных рядов пожарной статистики. *Технологии техносферной безопасности*. 2014;5(57). Доступно по: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/23-05-14.ttb.pdf> (дата обращения: 14.09.2021).
4. Матеров Е.Н. Использование языка программирования R в вопросах пожарной безопасности: анализ статистики количества пожаров на основе теории временных рядов. *Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник»*. 2019;1(12):52–57. Доступно по: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2019/v1/N12_52-57.pdf (дата обращения: 19.10.2021).
5. Горбенко О.Н., Макарова А.А. Анализ современных методов, применяемых при моделировании пожаров. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2013;1(2). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2013/08/gorbenkomakarova_2_13_2.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
6. Болдыревский П.Б., Кистанова Л.А. Модель с распределенными лагами динамики инновационной деятельности промышленных предприятий. *Экономический анализ: теория и практика*. 2014;25(376):58–62.
7. *Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: Статистический сборник*. Под общ. ред. А. В. Матюшина. М.: ВНИИПО. 2015:124.
8. *Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: Статистический сборник*. Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО. 2017:124.
9. *Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник*. Под

- общ. ред. Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО. 2019:125.
10. *Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник*. Под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО. 2021:112.
 11. Богданова Е.М. Прогнозирование пожаров на основе авторегрессионных моделей. *Применение математических методов к решению задач МЧС России: сборник трудов секции №15 XXVIII Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь»*. ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. 2018:52–58. Доступно по: <https://amchs.ru/upload/iblock/9b8/Sbornik-sektsii-15 -KAF.37-KAF.72 .pdf> (дата обращения: 23.08.2021).
 12. Конопелько Л.А., Растоскуев В.В., Кустикова М.А., Банарь С.А., Быковская Е.А., Маюрова А.С. *Математическое моделирование в техносферной безопасности*. СПб.: Университет ИТМО. 2018:65.

REFERENCES

1. Baturо A.N. Forecasting the number of fires in the region based on the theory of time series. *Civil security technologies*. 2013;10(3):84–88. (In Russ.).
2. Kudryavtsev V.E., Kuchakov R.K. Do routine inspections help reduce the number of fires? *Pozharovzryvobezопасnost = Fire and Explosion Safety*. 2019;28(2):81–89. Available at: <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.81-89> (accessed: 27.10.2021). (In Russ.).
3. Pranov B.M. On some approaches to modeling and forecasting time series of fire statistics. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezопасnosti = Technology of technosphere safety*. 2014;5(57). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/23-05-14.ttb.pdf> (accessed: 14.09.2021). (In Russ.).
4. Materov E.N. The use of the R programming language in matters of fire safety: analysis of the statistics of the number of fires based on the theory of time series. *Scientific and analytical journal "Sibirskiy pozharno-spatatel'nyy vestnik = Siberian Fire and Rescue Bulletin"*. 2019;1(12):52–57. Available at: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2019/v1/N12_52-57.pdf (accessed 19.10.2021). (In Russ.).
5. Gorbenko O.N., Makarova A.A. Analysis of modern methods used in modeling fires. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2013;1(2). Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2013/08/gorbenkomakarova_2_13_2.pdf (accessed: 20.10.2021). (In Russ.).
6. Boldyrevskiy P.B., Kistanova L.A. Model with distributed lags of the dynamics of innovation activity of industrial enterprises. *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*. 2014;25(376):58–62. (In Russ.).
7. *Pozhary i pozharnaya bezопасnost' v 2014 godu: Statisticheskij sbornik*. Pod. obsh. red. A.V. Matyushin. Moscow: VNIPO. 2015:124. (In Russ.).
8. *Pozhary i pozharnaya bezопасnost' v 2016 godu: Statisticheskij sbornik*. Pod. obsh. red. D.M. Gordienko. Moscow: VNIPO. 2017:124. (In Russ.).
9. *Pozhary i pozharnaya bezопасnost' v 2018 godu: Statisticheskij sbornik*. Pod. obsh. red. D.M. Gordienko. Moscow: VNIPO. 2019:125. (In Russ.).
10. *Pozhary i pozharnaya bezопасnost' v 2020 godu: Statisticheskij sbornik*. Pod. obsh. red. D.M. Gordienko. Moscow: VNIPO. 2021:112. (In Russ.).
11. Bogdanova E.M. Prognozirovanie pozharov na osnove avtoregressionnyh modelej. *Application of mathematical methods to solving problems of the Ministry of Emergency Situations of Russia: proceedings of section N 15 of the XXVIII International Scientific and Practical Conference "Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch."* FGBVOU VO the AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2018;52–58. Available at:

- https://amchs.ru/upload/iblock/9b8/Sbornik-sektsii-15_-KAF.37-KAF.72_.pdf (date of application 23.08.2021). (In Russ.).
12. Konopelko L.A., Rastoskuev V.V., Kustikova M.A., Banar S.A., Bykovskaya E.A., Mayurova A.S. *Matematicheskoe modelirovanie v tekhnosfernoj bezopasnosti*. St. Petersburg: ITMO University. 2018:65. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Репин Сергей Викторович, начальник управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Нижегородской области, Нижний Новгород, Российская Федерация.

e-mail: repin52@yandex.ru

ORCID: [0000-0002-6911-8053](https://orcid.org/0000-0002-6911-8053)

Sergey Viktorovich Repin, Head of the Department of Supervision and Preventive Work of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Nizhny Novgorod Region, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Болдыревский Павел Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математических и естественнонаучных дисциплин, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

e-mail: bpavel2@rambler.ru

Boldyrevskii Pavel Borisovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematical and Natural Sciences, National Research Nizhny Novgorod State University n.a. N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Кистанова Людмила Анатольевна, старший преподаватель, кафедра экономического анализа и информационных технологий, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород, Российская Федерация

e-mail: lakistanova@mail.ru

Lyudmila Anatolyevna Kistanova, Senior Lecturer, Department of Economic Analysis and Information Technologies, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Лаквицкий Георгий Николаевич, заместитель начальника отдела надзорных мероприятий в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Нижегородской области, Нижний Новгород, Российская Федерация.

e-mail: egor70288@mail.ru

Georgy Nikolaevich Lakhvitsky, Deputy Head of the Department of Supervision Measures in the Field of Civil Defense, Protection of the Population and Territories from Emergency Situations of the Department of Supervision and Preventive Work of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Nizhny Novgorod Region, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 22.11.2021; одобрена после рецензирования 17.03.2022; принята к публикации 11.04.2022.

The article was submitted 22.11.2021; approved after reviewing 17.03.2022; accepted for publication 11.04.2022.