

УДК 519.876.5

DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0034

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ОСНАЩЕННОСТИ ЛЕСОПОЖАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ СИЛАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 4702-5955

AuthorID: 618777

ORCID: 0000-0002-5531-3579

ResearcherID: F-2232-2018

ScopusID: 57212562000

АВДЕЕВА Марина Олеговна, кандидат экономических наук,
доцент высшей школы техносферной безопасности

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: avdeeva_mo@spbstu.ru)

SPIN: 3204-6018

AuthorID: 831170

ORCID: 0000-0002-6725-7340

ResearcherID: AAF-4709-2019

ScopusID: 57218102410

УЗУН Олег Леонидович, кандидат юридических наук, доцент высшей школы техносферной безопасности

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: uzun_ol@spbstu.ru)

SPIN: 8286-5957

AuthorID: 805309

ORCID: 0000-0002-0567-3875

ResearcherID: Q-4441-2017

ScopusID: 57205428468

ДОРНИН Александр Сергеевич, ассистент высшей школы техносферной безопасности

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: doronin_as@spbstu.ru)

ГАВРИЛОВА Марина Владимировна, студентка высшей школы техносферной безопасности

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: gavrilo2.mv@edu.spbstu.ru)

Аннотация. Рост количества и масштабов лесных пожаров ведет к увеличению финансовых затрат на их ликвидацию, росту количества сгоревшей и уничтоженной древесины, что также несет за собой ущерб для экономики страны. Пожары в лесных массивах приводят к нарушению экосистем, вызванному уничтожением растительного и животного мира, и экологической функции этих систем. Этим обусловлена актуальность написанной авторами статьи. С ростом опасности растёт озабоченность научного сообщества проблемами эффективности борьбы с лесными пожарами, в частности, связанными с силами пожаротушения. Оценка оснащённости сил и средств, задействованных в борьбе с лесными пожарами, способствует выявлению проблем работы лесопожарных формирований и определению возможных путей их решения. Целью данной статьи была разработка имитационной модели, которая позволяет получить значения новых, ликвидируемых пожаров, пожаров без реагирования и свободные группы лесопожарных формирований. Исходя из проведенного литературного обзора публикаций, авторами предложена модель, не имеющая аналогов. И широкие возможности имитационного моделирования, реализованные в программном продукте *AnyLogic* делают возможным создание модели для соответствующей оценки. В результате реализованная модель позволяет отслеживать возникновение критического порога, когда имеющихся базовых тактических единиц лесопожарного формирования типового состава будет недостаточно для оперативного реагирования на возникающие пожары, что, в свою очередь, позволит оценить достаточность таких базовых тактических единиц, укомплектованных необходимыми для ликвидации лесных пожаров средствами. Данную модель возможно использовать при составлении ежегодных сводных планов тушения пожаров.

Ключевые слова: лес, лесопожарные формирования, техносферная безопасность, моделирование, имитационное моделирование, чрезвычайная ситуация, пожар, *AnyLogic*.

**APPLICATION OF THE SIMULATION MODELING METHOD TO ASSESS THE EQUIPMENT
OF FOREST FIRE FIGHTING UNITS BY FIRE EXTINGUISHING FORCES**

© Autor(s) 2022

AVDEEVA Marina Olegovna, phd (economic), associate professor of Higher School of Technospheric Safety

UZUN Oleg Leonidovich, phd (legal), associate professor of Higher School of Technospheric Safety
DORONIN Alexander Sergeevich, assistant at the Higher School of Technosphere Security
GAVERILOVA Marina Vladimirovna, student of the Higher School of Technosphere Security

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
 (195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic St., 29,*

e-mail: avdeeva_mo@spbstu.ru, uzun_ol@spbstu.ru, doronin_as@spbstu.ru, gavrilo2.mv@edu.spbstu.ru)

Abstract. The increase in the number and scale of forest fires leads to an increase in the financial costs of their elimination, an increase in the number of burned and destroyed wood, which also causes damage to the country's economy. Fires in forests lead to the disruption of ecosystems caused by the destruction of flora and fauna, and the ecological function of these systems. This is due to the relevance of the article written by the authors. With the growing danger, the concern of the scientific community is growing about the effectiveness of fighting forest fires, in particular, related to fire extinguishing forces. The assessment of the equipment of forces and means involved in the fight against forest fires helps to identify problems of the work of forest fire units and identify possible ways to solve them. And the extensive simulation capabilities implemented in the *AnyLogic* software product make it possible to create a model for an appropriate assessment. The authors have developed a simulation model that allows us to obtain the values of new, liquidated fires, fires without response and free groups of forest fire formations. The model allows you to track the occurrence of a critical threshold when the existing basic tactical units of forest fire formation of a typical composition will not be enough for rapid response to emerging fires, which, in turn, will allow you to assess the sufficiency of such basic tactical units equipped with the means necessary for the elimination of forest fires. Based on the literature review of publications, the authors proposed a model that has no analogues. This model can be used when drawing up annual consolidated fire extinguishing plans.

Keywords: forest, forest fire formations, technosphere safety, modeling, simulation, emergency, fire, *AnyLogic*.

Для цитирования: Авдеева М.О. Применение метода имитационного моделирования для оценки оснащённости лесопожарных формирований силами пожаротушения / М.О. Авдеева, О.Л. Узун, А.С. Доронин, М.В. Гаврилова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 2(58). – С. 196-201. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0034.

Введение. Пожары лесов оказывали влияние на биогеографию планеты в течение различных геологических периодов планеты, а позже стали немаловажным звеном и в эволюции человека, который с ходом времени научился изменять режимы пожара. Но, несмотря на это, последние десятилетия характеризуются стремительным увеличением масштабов лесных пожаров, вызванным климатическими изменениями. Вместе с ростом масштабов лесных пожаров увеличивается и причинённый ими ущерб и финансовые затраты на борьбу с ними.

Лес является источником различных материальных благ и играет важную роль в жизни общества.

Но есть ряд негативных факторов, негативно влияющих на лесное хозяйство страны. Лесные насаждения могут погибать по ряду причин: повреждения вредными насекомыми, повреждения дикими животными, болезни леса, воздействие неблагоприятных погодных условий, лесные пожары, антропогенные факторы. Как видно на рисунке 1 больше всего лесных насаждений в Российской Федерации за последние три года пострадало от лесных пожаров [1, 2].

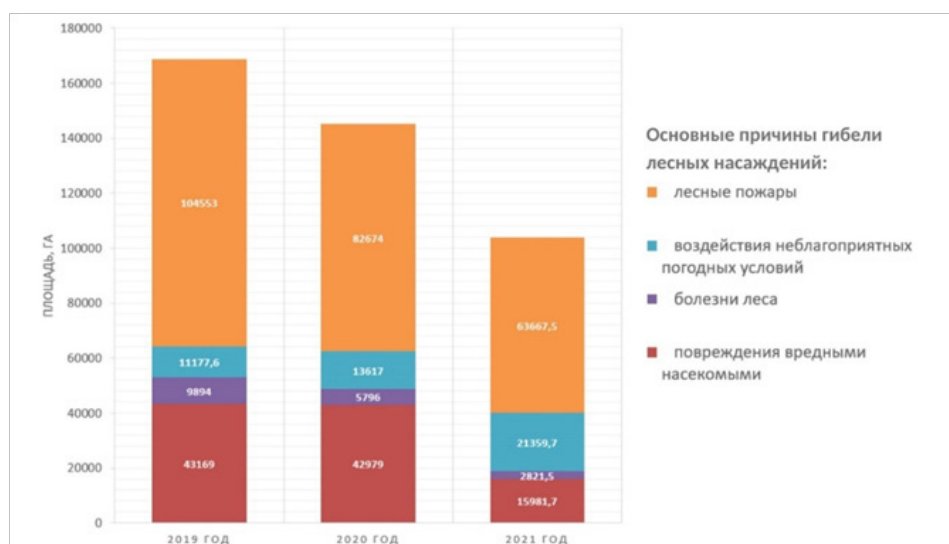


Рисунок 1 – Площадь погибших лесных насаждений (по данным ЦСУ)

Рост количества и масштабов лесных пожаров ведет к увеличению финансовых затрат на их ликвидацию, росту количества сгоревшей и уничтоженной древесины, что также несет за собой ущерб для экономики страны. В 2021 году предварительный экономический ущерб от лесных пожаров составил 10,6 млрд рублей [3-5]. Пожары в лесных массивах приводят к нарушению экосистем, вызванному уничтожением растительного и животного мира, и экологической функции этих систем [6]. Помимо разрушения лесных экосистем во время пожара происходит выброс углекислого газа в атмосферу, выделение дыма, содержащего ядовитых продуктов горения, наносящий вред здоровью человека. В 2021 году сразу несколько районов Красноярского края оказались окутаны дымом от лесных пожаров. В некоторых из городов, оказавшихся задымленными, Роспотребнадзор выявил превышения нормативов по содержанию вредных веществ [7-9]. Лесные пожары также губительны для почвы, так как огнем разрушается плодородный слой до 20 см, и для водоёмов, так как уничтожение лесного покрова изменяет водный режим рек, озёр и болот, и способствует их высыханию [10].

Эффективная борьба с лесными пожарами способствует снижению наносимых ими последствий. Недостаточное количество сил и средств, направляемых на ликвидацию лесных пожаров, способствует снижению эффективности работы лесопожарных служб. Оценка оснащённости силами пожаротушения лесопожарных формирований позволяет определить численность сил пожаротушения в их составе, необходимую для своевременного реагирования на возникающие пожары [11].

Целью данной статьи является разработка имитационной модели работы лесопожарных формирований для оценки оснащённости силами пожаротушения.

При создании модели была поставлена следующая задача: разработать такую модель лесопожарного формирования, которая позволит отслеживать возникновение критического порога при определённой численности формирования. Для реализации модели, соответствующей задаче, наиболее подходящим является использование дискретно-событийного моделирования.

Для работы модели необходимы следующие входные данные о выбранной для исследования территории:

- интенсивность возникновения пожаров (количество лесных пожаров в день);
- количество лесопожарных формирований;
- длина операционного периода.

Количество лесных пожаров в определённой зоне рассматривается как случайная величина, которая характеризуется статистическими моделями адекватного распределения пожаров по дням сезона. Параметры этого распределения рассчитываются на основе статистических данных о лесных пожарах

на рассматриваемой территории за предыдущий пятилетний период в отношении периодов низкого, среднего и высокого риска лесных пожаров [12, 13].

Методология. Для разработки имитационной модели использовалось программное обеспечение *AnyLogic* и метод имитационного моделирования, который представляет собой метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему (построенная модель описывает процессы так, как они проходили бы в действительности), с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе [14-16]. Программное обеспечение включает в себя графический язык моделирования и позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java [17].

Пожары представлены в виде агентов, которые создаются с помощью блока «*Source* (пожар)». В настройках данного блока можно задавать интенсивность возникновения агентов и их периодичность. Блок «*Queue* (ожидание реагирования)» используется для создания очереди из появляющихся пожаров, на ликвидацию которого еще не были отправлены группы. Появление очереди из пожаров в данном блоке будет свидетельствовать о том, что на возникшие пожары не удаётся быстро отреагировать.

С помощью тех же блоков, которые были описаны выше, создаются группы для ликвидации пожаров. В отличие от пожаров, в блоке «*Source* (группа)» задается конечное количество групп, которые будут созданы данным блоком. Под группой понимается базовая тактическая единица (лесопожарное формирование) типового состава (подразделения), имеющая все необходимые для ликвидации пожара технические средства. Это может быть группа как наземной, так и авиационной службы охраны лесов с соответствующими силами и средствами. Блок «*Queue* (Ожидание вызова)» в данном случае имитирует ожидание группами вызова на пожар.

При моделировании ликвидации использовались блоки «*Pickup* (Прибытие группы)» и «*Dropoff* (Возвращение группы)». Данные блоки позволяют имитировать занятость группы в пожаре. Блок «*Delay* (Ликвидация)» создаёт задержку на заданное время. Данный блок позволяет имитировать операционный период группы. В этот же период входит время, затраченное на транспортировку группы до места пожара и на возвращение группы. Так как длительность операционного периода зависит от степени опасности в лесах, которая в разный период времени сезона пожароопасности лесом имеет разное значение, время задержки в блоке «Ликвидация» устанавливается с помощью расписания.

После ликвидации пожара группа агент «Пожар» уничтожается с помощью блока «*Sink* (Пожар потушен)». Но агенты «Группа», в отличие от агентов «Пожар» не уничтожаются, а возвращаются в очередь в блоке «ожидание вызова». Так как группа не может сразу же после ликвидации пожара приступить к

ликвидации следующего, был использован блок «Delay (Отдых)», который создает задержку группы на необходимое время, равное одним суткам.

Результаты. Для проверки работоспособности модели были заданы некоторые случайные условия:

- интенсивность пожаров: 7 пожаров в неделю, с возможностью появления двух пожаров за один раз;
- количество групп: 15;
- время операционного периода: сутки.

При запуске модели (рис. 2) можно заметить, что в блоке «ожидание_реагирования» накапливается очередь из появившихся пожаров.

Это говорит о том, что для реагирования на пожар в данный момент модельного времени нет свободных групп, следовательно, данного количества групп в заданных условиях будет недостаточно для своевременного реагирования на вновь появляющиеся лесные пожары.

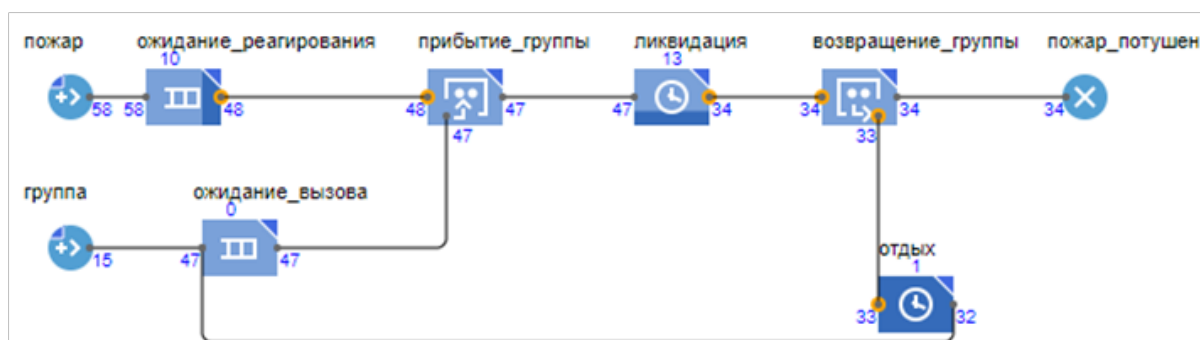


Рисунок 2 – Пример работы модели (составлено авторами)



Рисунок 3 – Временной график (составлено авторами)

На графике (рис. 3) можно заметить, что пока групп достаточно, на пожары удаётся реагировать своевременно. Как только все группы заняты ликвидацией пожаров, пожары, оставшиеся без реагирования, начинают накапливаться. Таким образом, построенная модель соответствует поставленной задаче.

Обсуждение. Программное обеспечение AnyLogic позволяет визуализировать данные о работе модели. С помощью инструмента «Временной график» был создан соответствующий объект (рис. 3.). Данный график иллюстрирует, как со временем меняется количество свободных групп, количество ликвидируемых пожаров, на котором заняты группы, и количество пожаров, на ликвидацию которых еще не были отправлены группы.

На разработанной модели была проведена серия экспериментов и получены временные графики работы лесопожарных формирований. В Ленинградской области за летний период не возникало острой нехватки имеющихся лесопожарных формирований

(рис. 4).

Но, как видно на графике, в промежутке с 17 июля по 19 июля, произошло резкое снижение свободных отрядов (в данном случае лесопожарные формирования, состоящие из 6 групп). Если бы интенсивность возникновения новых пожаров не снизилась, а увеличилась, то это привело бы к возникновению критического порога численности формирований.

В случае с Красноярским краем, на протяжении летнего периода критический порог численности формирований возникал несколько раз. Один из них, возникшей в промежутке с 1 июня по 15 июня, был рассмотрен подробнее (рис. 5)

В связи с тем, что второго июня возникло больше лесных пожаров, чем имелось готовых к реагированию на пожар свободных команд (в данном случае лесопожарные формирования, состоящие из 3 отрядов по 3 группы), все имеющиеся силы были задействованы к их ликвидации, что привело к накоплению пожаров, оставшихся без реагирования.

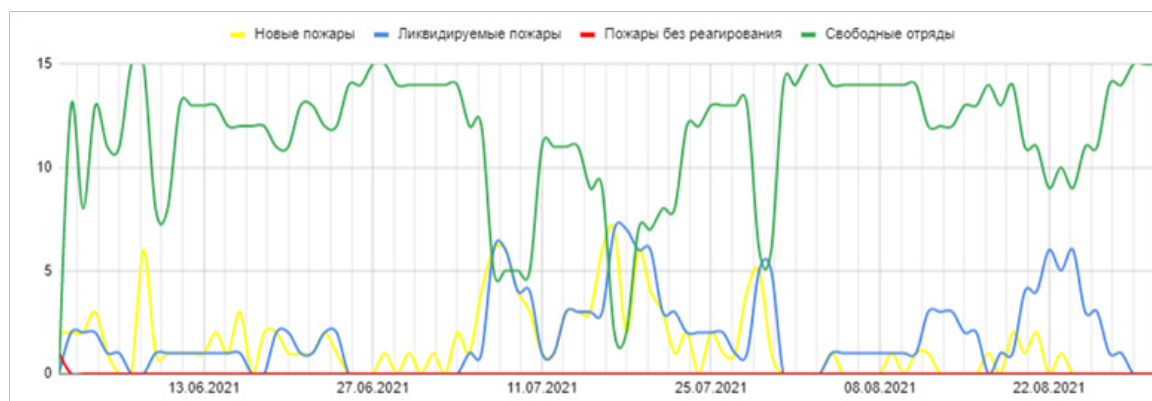


Рисунок 4 – Временной график работы лесопожарных формирований в Ленинградской области (составлено авторами)



Рисунок 5 – Временной график работы лесопожарных формирований Красноярского края (составлено авторами)

Так как все свободные команды были задействованы одновременно, 5 июня возникла ситуация, что на ликвидации лесных пожаров не было никого задействовано, потому что все команды находились на отдыхе после работ по ликвидации пожаров. Несмотря на то, что интенсивность пожаров значительно снизилась уже через два дня, свободных команд не появлялось вплоть до 9 июня, так как все были задействованы в ликвидации накопившихся пожаров. Это и есть проявление негативного эффекта «запаздывания». Для избегания данного эффекта было бы рационально привлечение сторонних сил пожаротушения на промежуток времени с повышенной интенсивностью пожаров.

Выводы. Разработана имитационная модель работы лесопожарных формирований, которая позволяет отслеживать возникновение критического порога, когда имеющихся базовых тактических единиц лесопожарного формирования типового состава будет недостаточно для оперативного реагирования на возникающие пожары, что, в свою очередь, позволит оценить достаточность таких базовых тактических единиц, укомплектованных необходимыми для ликвидации лесных пожаров средствами.

Данную модель возможно использовать при составлении ежегодных сводных планов тушения пожаров. Задавая различные количества сил и средств и проводя несколько экспериментов, можно составить примерный для заданных условий вариант оснащения формирования. А также составить план

маневрирования лесопожарных формирований из других субъектов, необходимый в случае введения чрезвычайных ситуаций.

Несмотря на то, что в 2019 году появились нормативы обеспеченности субъектов РФ лесопожарными формированиями, на момент 2019 года численность работников в лесопожарных подразделениях в целом по стране недостаточна [18, 19]. И, как показали результаты работы модели, нормативных значений численности лесопожарных формирований может быть недостаточно. Анализ результатов моделирования позволит сделать выводы, в какие временные промежутки пожароопасного сезона в лесах сил и средств пожаротушения, имеющихся у субъекта, будет недостаточно. Данные выводы позволят заблаговременно продумывать, сколько дополнительных сил и средств (временные пожарные сторожа, нанимаемые лесхозами на пожароопасный сезон в помощь лесной охране, и другие работники лесхозов, находящиеся на работах; резервные пожарные команды, специально организованные из рабочих и служащих лесхозов с прикрепленными к ним техникой, средствами транспорта и пожарным инвентарем; пожарные дружины (добровольные пожарные дружины), создаваемые на пожароопасный сезон в подразделениях, осуществляющих лесные пользования или производящих работы в лесу, а также в поселках, расположенных в лесу [20]). Или же, наоборот, обратить внимание на то, что сил и средств в избытке и их можно включить в план маневрирования

лесопожарных формирований между субъектами.

Принцип работы данной модели может лечь в основу других моделей, моделирующих работу пожарных частей, формирований гражданской обороны, подразделений МЧС и других формирований, направленных на ликвидацию чрезвычайных ситуаций. Модель позволит выявить недостатки в оснащённости силами и средствами, необходимыми для ликвидации чрезвычайных ситуаций, в соответствии с моделируемым формированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Росстат. Сведения о защите лесов за 2019, 2020, 2021 года / Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (Дата обращения: 25.03.2022).
2. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства / Электронный ресурс. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml (Дата обращения: 01.04.2022).
3. ТАСС. В Минприроды оценили экономический ущерб от лесных пожаров в России в 2021 году / Электронный ресурс. URL: https://tass.ru/ekonomika/13265341?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Дата обращения: 25.03.2022).
4. Туманов Ю.А., Узун О.Л. Анализ проблем обеспечения безопасности населения и территорий в чрезвычайных ситуациях и пути их решения // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. – 2020. – № 2 (47). – С. 35-43.
5. Avdeeva M. Byzov A. Smyshlyayeva K. Leonova N. Assessment of the fire situation of a certain building using fenix+ // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – 1259 AISC. P. 391-400 doi:10.1007/978-3-030-57453-6_35.
6. Гнусов М.А., Малюков С.В., Петков А.Ф. Виды и характеристики лесных пожаров // Воронежский научно-технический Вестник. – 2020. – Т. 1. – № 1 (31). – С. 140-146.
7. Федеральный закон от 21.12.1994 №69-ФЗ «О пожарной безопасности» / Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9028718> (Дата обращения: 25.03.2022).
8. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 июля 2014 г. N 313 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров» / Электронный ресурс. URL: <http://base.garant.ru/70717748/> (Дата обращения: 25.03.2022).
9. Телеканал Енисей. Дым от лесных пожаров заметили в семи районах Красноярского края / Электронный ресурс. URL: <https://www.enisey.tv/news/post-32388/> (Дата обращения: 25.03.2022).
10. Кудрявцев И.Е., Хертуев В.Н., Дмитриева А.В. Экологический ущерб от лесных пожаров // В сборнике: Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов. Материалы всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией Л.О. Григорьевой, В.Н. Хертуева. – 2019. – С. 138-141.
11. Dorrer, G., & Yarovsky, S. Use of agent-based modeling for wildfire situations simulation. Paper presented at the // RPC 2018 - Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. – 2018.
12. Бородин В.А., Кузовлев А.В., Харитонов А.А. Оперативно-тактические действия при тушении лесных пожаров подразделениями пожарной охраны // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – № 9. – С. 77-79.
13. ЕМИСС. Число случаев лесных пожаров, зарегистрированных в зоне контроля лесных пожаров, где решением КЧС и ОПБ субъекта Российской Федерации принято решение о приостановке и прекращении тушения / Электронный ресурс. URL: <https://fedstat.ru/indicator/58735> (Дата обращения: 01.04.2022).
14. Википедия. Имитационное моделирование / Электронный ресурс. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Имитационное_моделирование (Дата обращения: 01.04.2022).
15. Википедия. Субъекты Российской Федерации / Электронный ресурс. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80-%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8 (Дата обращения: 01.04.2022).
16. Осипова А.Н. Теоретические основы методов имитационного моделирования // Точная наука. – 2020. – № 87. – С. 13-15.
17. Григорьев И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию // Практическое пособие. – 2020. – 273 с.
18. Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Савченкова В.А. Метод оценки обеспеченности лесопожарных формирований силами пожаротушения // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 3 (31). – С. 71-78.
19. Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Перминов А.В., Калинин М.С. Оценка состояния лесопожарной системы страны // Лесохозяйственная информация. – 2019. – № 3. – С. 82-93.
20. Кректунов А.А., Гайнуллина Е.В. Основные проблемы организации противопожарной защиты населенных пунктов при предотвращении и тушении лесных пожаров // В сборнике: Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2012. – С. 165-167.

Статья поступила в редакцию 28.03.2022

Статья принята к публикации 20.06.2022