

---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

Научная статья

УДК 004.94

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСНАЩЕННОСТИ ЛЕСОПОЖАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ СИЛАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

✉ Гаврилова Марина Валериевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия.

Алешков Александр Михайлович.

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

✉ [gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru](mailto:gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru)

*Аннотация.* В настоящее время наблюдается увеличение масштабов лесных пожаров и, соответственно, рост ущерба от них. Эффективная борьба с лесными пожарами способствует снижению их последствий. На эффективность борьбы с лесными пожарами влияет состояние лесопожарной системы страны. На основе анализа состояния лесопожарной системы страны выявлено, что на эффективность работы подразделений по тушению лесных пожаров влияет оснащённость подразделений силами и средствами пожаротушения. Целью данной работы является разработка имитационной модели лесопожарных формирований для оценки оснащённости подразделений силами и средствами пожаротушения. В данной работе использовался метод имитационного моделирования. В качестве средства моделирования использовался программный продукт AnyLogic. Описана разработка модели подразделения лесного пожаротушения для тушения лесных пожаров. Также в данной работе рассмотрена возможность использования разработанной модели для оценки оснащённости подразделений лесного пожаротушения силами и средствами пожаротушения.

*Ключевые слова:* лесные пожары, ликвидация лесных пожаров, лесопожарные формирования, имитационное моделирование, AnyLogic, лесная охрана

**Для цитирования:** Гаврилова М.В., Алешков А.М. Использование имитационного моделирования для оценки оснащённости лесопожарных формирований силами пожаротушения // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 60–65.

Scientific article

## THE USE OF SIMULATION MODELING TO ASSESS THE EQUIPMENT OF FOREST FIREFIGHTING UNITS WITH FIREFIGHTING FORCES

✉ Gavrilova Marina V.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia.

Aleshkov Aleksander M.

Academy of EMERCOM of Russia

✉ [gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru](mailto:gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru)

*Abstract.* At present, there is an increase in the scale of forest fires and, accordingly, an increase in damage from them. Effective fighting of forest fires contributes to the reduction of the consequences of forest fires. The effectiveness of forest fire suppression is influenced by the state of the country's forest fire system. Based on the analysis of the state of the forest fire system of the country revealed that the effectiveness of units

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

to extinguish forest fires is influenced by the equipment of units with firefighting forces and means. The purpose of this work is to develop a simulation model of forest firefighting units to assess the equipment of subdivisions with firefighting forces and means. The method of simulation modeling was used in this work. As a simulation tool the software product AnyLogic was used. This paper describes the development of a forest firefighting unit model for extinguishing forest fires. Also in this work the possibility of using the developed model for the evaluation of the forest firefighting units with firefighting forces and means has been considered.

*Keywords:* forest fires, forest fire suppression, forest fire brigades, simulation modelling, AnyLogic, forest protection

**For citation:** Gavrilova M.V., Aleshkov A.M. The use of simulation modeling to assess the equipment of forest firefighting units with firefighting forces // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects)*. 2023. № 1 (45). P. 60–65.

## Введение

Изменение климата в последние десятилетия способствует возрастанию пожарной опасности в лесах России [1, 2]. Лесные пожары представляют угрозу для жизни людей, проживающих вблизи пожароопасных территорий, их имущества и для лесного хозяйства в целом. Помимо этого, атмосферный воздух загрязняется за счет горения леса и влияет на качество воздуха, что негативно сказывается на здоровье людей и экологической обстановке территорий [3]. Эффективная борьба с лесными пожарами способствует снижению наносимых ими последствий.

На эффективность борьбы с лесными пожарами влияет состояние лесопожарной системы страны. Самая низкая эффективность работ лесопожарных подразделений по предварительной оценке наблюдается в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [4]. Именно на эти округа в последние три года приходится более 80 % погибших при пожарах лесных насаждений от общей площади по стране [5]. Среди основных ошибок, допускаемых лесопожарными формированиями при ведении оперативных действий по тушению лесного пожара, отмечено медленное наращивание сил и средств [6]. Недостаточное количество сил и средств, направляемых на тушение на начальном этапе реагирования на возникающие пожары, также способствует дальнейшему распространению пожара [7]. Оценка оснащенности сил и средств, задействованных в борьбе с лесными пожарами, способствует выявлению проблем работы лесопожарных формирований и определению возможных путей их решения. Имитационное моделирование уже используется научным сообществом в вопросах безопасности [8], что говорит о широких возможностях данного метода и делает возможным создание модели для оценки оснащенности лесопожарных формирований силами пожаротушения.

## Методы исследования

При разработке модели использовалась научная работа, в которой описывается метод оценки обеспеченности лесопожарных формирований силами пожаротушения [9]. Данный аналитический метод апробирован и используется в лесной науке при разработке и совершенствовании нормативной правовой и методической базы.

Для разработки имитационной модели использовалось программное обеспечение AnyLogic. Оно включает в себя графический язык моделирования и позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java [10].

Для создания модели был выбран такой метод имитационного моделирования, как дискретно-событийное моделирование. Оно позволяет создавать системы с дискретными событиями. Дискретно-событийное моделирование подразумевает моделирование системы, которая должна быть представлена как процесс, то есть как последовательность действий, выполняемых агентами, или как поток заявок, которые обрабатываются ресурсами [11].

## Результаты исследования и их обсуждение

Реагирование на возникший пожар осуществляет лесопожарное формирование. От того, как быстро формированию удастся среагировать на пожар, зависит скорость ликвидации пожара. Чем быстрее пожар будет ликвидирован, тем быстрее группа, занимающаяся его тушением, будет готова к работе по тушению другого обнаруженного пожара. Таким образом, эффективность работы лесопожарного формирования зависит от двух условий: скорости действий лесопожарных формирований и их численности. Достижение предела численности формирований, когда ресурсов недостаточно для реагирования на новый лесной пожар, всегда означает достижение критического порога, после прохождения которого начинает проявляться негативный эффект «запаздывания», когда формирование несвоевременно реагирует на пожар (от чего пожар может стать масштабнее, следовательно, на его ликвидацию потребуется больше сил и времени) [9]. При создании модели была поставлена следующая задача: разработать такую модель лесопожарного формирования, которая позволит отслеживать возникновение критического порога при определённой численности формирования (рис. 1).

Пожары представлены в виде агентов, которые создаются с помощью блока «Source» (на рис. 1 – «Пожар»). В настройках данного блока можно задавать интенсивность возникновения агентов и их периодичность. Блок «Queue» (на рис. 1 – «Ожидание реагирования») используется для создания очереди из появляющихся пожаров, на ликвидацию которого еще не были отправлены группы. С помощью тех же блоков создаются группы для ликвидации пожаров. В отличие от пожаров, в блоке «Source» (на рис. 1 – «Группы») задается конечное количество групп, которые будут созданы данным блоком. Под группой понимается базовая тактическая единица лесопожарного формирования типового состава (подразделения), имеющая все необходимые для ликвидации пожара технические средства. Блок «Queue» (на рис. 1 – «Ожидание вызова») в данном случае имитирует ожидание группами вызова на пожар. При моделировании ликвидации использовались блоки «Pickup» (на рис. 1 – «Прибытие группы») и «Dropoff» (на рис. 1 – «Возвращение группы»). Данные блоки позволяют имитировать занятость группы в пожаре. Блок «Delay» (на рис. 1 – «Ликвидация») создаёт задержку на заданное время. Данный блок позволяет имитировать операционный период группы, который определяется временем обнаружения лесного пожара и его ликвидации. В этот же период входит время, затраченное на транспортировку группы до места пожара и на возвращение группы. При создании данной модели было принято допущение, что возникающие пожары одинаковы по сложности, на их ликвидацию требуется одинаковый операционный период и одной группы для его ликвидации будет достаточно. После ликвидации пожара соответствующий агент уничтожается с помощью блока «Sink» (на рис. 1 – «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» (на рис. 1 – «Отдых»), который создает задержку группы на необходимое время.

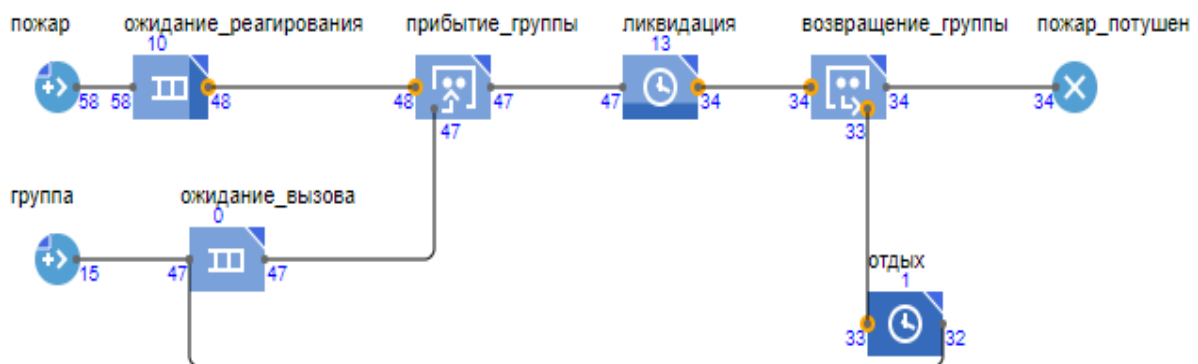


Рис. 1. Пример работы модели

Для проверки работоспособности модели были заданы следующие условия:

- интенсивность: семь пожаров в неделю, с возможностью появления двух пожаров за один раз;
- количество групп: 15;
- время операционного периода: сутки;
- группа может приступить к тушению следующего пожара через сутки.

При запуске модели (рис. 1) можно было 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.



Рис. 2. График работы модели

График, представленный на рис. 2, получен во время работы модели и иллюстрирует как со временем меняется количество свободных групп лесопожарного формирования, количество ликвидируемых пожаров, на котором заняты группы, и количество пожаров, на ликвидацию которых еще не были отправлены группы лесопожарного формирования.

На графике можно заметить, что пока групп достаточно, на пожары удаётся реагировать своевременно (не происходит накопление пожаров, на которые не удастся реагировать). Как только все группы заняты ликвидацией пожаров, пожары, оставшиеся без реагирования, начинают накапливаться. Количество ликвидируемых пожаров остается неизменным, так как на ликвидации задействованы все возможные силы.

### Заключение

Таким образом, в ходе выполнения данной работы был разработан прототип модели работы лесопожарного формирования, иллюстрирующий только принцип работы имитационной модели, которая позволит 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.

### Список источников

1. An assessment of potential change in wildfire activity in the russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century / S.P. Malevsky-Malevich [et al.] // Climatic Change. 2008. № 86 (3–4). P. 463–474. DOI: 10.1007/s10584-007-9295-7.

2. Potential forest fire danger over northern Eurasia: Changes during the 20th century / P.Y. Groisman [et al.] // *Global and Planetary Change*. 2007. № 56 (3–4). P. 371–386. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.029.
3. Fried J.S., Gillies J.K., Spero J. Analysing initial attack on wildland fires using stochastic simulation // *International Journal of Wildland Fire*. 2006. № 15 (1). P. 137–146. DOI: 10.1071/WF05027.
4. Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Показатель для оценки эффективности организации охраны лесов от пожаров // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2021. № 2 (380). С. 213–222.
5. Росстат. Сведения о защите лесов за 2018, 2019, 2020 гг. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (дата обращения: 02.10.2022).
6. Николаев Д.В., Триш А.А., Борисова М.Ю. Информационно-расчетное обеспечение принятия решений по применению сил и средств руководителем тушения пожаров // *Наука, техника и образование*. 2020. № 10 (74). С. 28–33.
7. Кректунов А.А., Гайнулина Е.В. Основные проблемы организации противопожарной защиты населенных пунктов при предотвращении и тушении лесных пожаров // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. статей по материалам III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. 2012. С. 165–167.
8. Савельев Д.И., Авдеева М.О. Постановка задачи моделирования чрезвычайной ситуации природного характера // *Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием*. СПб.: С.-Петерб. политех. ун-т Петра Великого, 2020. С. 13–15.
9. 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.
10. Григорьев И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию: практ. пособие. Интернет-издание. 2020. 273 с.
11. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде AnyLogic // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 13. С. 352–357.
12. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

## References

1. An assessment of potential change in wildfire activity in the russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century / S.P. Malevsky-Malevich [et al.] // *Climatic Change*. 2008. № 86 (3–4). P. 463–474. DOI: 10.1007/s10584-007-9295-7.
2. Potential forest fire danger over northern Eurasia: Changes during the 20th century / P.Y. Groisman [et al.] // *Global and Planetary Change*. 2007. № 56 (3–4). P. 371–386. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.029.
3. Fried J.S., Gillies J.K., Spero J. Analysing initial attack on wildland fires using stochastic simulation // *International Journal of Wildland Fire*. 2006. № 15 (1). P. 137–146. DOI: 10.1071/WF05027.
4. Kotel'nikov R.V., Martynyuk A.A. Pokazatel' dlya ocenki effektivnosti organizacii ohrany lesov ot pozharov // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2021. № 2 (380). S. 213–222.
5. Rosstat. Svedeniya o zashchite lesov za 2018, 2019, 2020 gg. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (data obrashcheniya: 02.10.2022).
6. Nikolaev D.V., Trish A.A., Borisova M.Yu. Informacionno-raschetnoe obespechenie prinyatiya reshenij po primeneniyu sil i sredstv rukovoditelem tusheniya pozharov // *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2020. № 10 (74). S. 28–33.
7. Krektunov A.A., Gajnullina E.V. Osnovnye problemy organizacii protivopozharnoj zashchity naseleennyh punktov pri predotvrashchenii i tushenii lesnyh pozharov // *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy: sb. statej po materialam III Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem*. 2012. S. 165–167.

8. Savel'ev D.I., Avdeeva M.O. Postanovka zadachi modelirovaniya chrezvychajnoj situacii prirodnoho haraktera // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb.: S.-Peterb. politekh. un-t Petra Velikogo, 2020. S. 13–15.

9. Korshunov N.A., Kotel'nikov R.V., Savchenkova V.A. Metod ocenki obespechennosti lesopozharnyh formirovanij silami pozharotusheniya // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2018. T. 8. № 3 (31). S. 71–78.

10. Grigor'ev I. AnyLogic za tri dnya. Prakticheskoe posobie po imitacionnomu modelirovaniyu: prakt. posobie. Internet-izdanie. 2020. 273 s.

11. Yakimov I.M., Kirpichnikov A.P., Mokshin V.V. Modelirovanie slozhnyh sistem v imitacionnoj srede AnyLogic // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 13. S. 352–357.

12. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 22.12.2022

Принята к публикации: 15.01.2023

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 22.12.2022

Accepted for publication: 15.01.2023

*Информация об авторах:*

**Гаврилова Марина Валериевна**, студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru

**Алешков Александр Михайлович**, доцент кафедры пожарной автоматики Академии государственной противопожарной службы МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, e-mail: alexander-akfire@yandex.ru

*Information about the authors:*

**Gavrilova Marina V.**, student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29), e-mail: gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru

**Aleshkov Aleksander M.**, associate professor of the department of fire automation of the Academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), candidate of technical sciences, e-mail: alexander-akfire@yandex.ru