

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ СМЕНЫ ДЕЖУРНЫХ КАРАУЛОВ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

В организации деятельности оперативных пожарных подразделений существуют исторически сложившиеся подходы к решению различных вопросов, в частности, к определению времени проведения смены дежурных караулов. Применение новых математических методов и информационных технологий позволяет всесторонне рассмотреть целесообразность выбора времени смены караулов, а также его влияние на другие аспекты деятельности пожарных подразделений. В статье описаны основные методические подходы к решению поставленной проблемы, в частности, с применением средств программной среды R.

Ключевые слова: боеготовность, подразделения пожарной части, дежурный караул, программная среда R, время смены караулов, репрезентативная выборка

Распорядком дня дежурных караулов в большинстве пожарных подразделений для проведения их смены определен промежуток времени с 7:00 до 8:30. Насколько оправдан выбор именно этого периода? Например, в подразделениях Минобороны России и в ряде других ведомств смена суточного наряда производится в вечернее время. Исследуем этот вопрос аналитическими методами.

Основная задача оперативного подразделения пожарной охраны – в ходе дежурства обеспечить постоянное поддержание требуемого уровня боеготовности. Гипотетически оптимальным временем смены караулов является период с наименьшей рабочей нагрузкой, когда подразделение, находясь в относительно спокойной обстановке, может передать заступающей смене технику и документацию.

В ходе исследования рассмотрены более 2,3 млн случаев пожаров за 2015–2019 годы и первое полугодие 2020 года. Для формирования репрезентативной выборки в первом приближении рассмотрен показатель занятости подразделений P_w определяемый в минутах, начиная с момента поступления вызова и до ликвидации пожара. Из выборки были удалены записи, не соответствующие условию $P_w \leq 10$ мин. Выбор границы интервала обусловлен следующими доводами: во-первых, с учетом времени на обработку вызова, следования к месту вызова и боевого развертывания маловероятно, что пожарное подразделение потушит пожар за время менее 10 мин. По предварительной оценке, в среднем $P_w \sim 30 \dots 60$ мин.

Продолжительность пожара может достигать до нескольких суток. В истории известен случай, когда пожар тушили почти три года. 1 декабря 1963 г. на газовом месторождении Урта-Булак в Узбекистане в результате аварии произошел выброс и возгорание природного газа. Горящий факел достигал высоты 70 м, ежедневно сгорало порядка 12–14 млн м³ газа. Только через 1074 дня пожар удалось ликвидировать направленным подземным взрывом ядерного заряда [1].

Далее на диаграмме представлено распределение пожаров по показателю P_w .

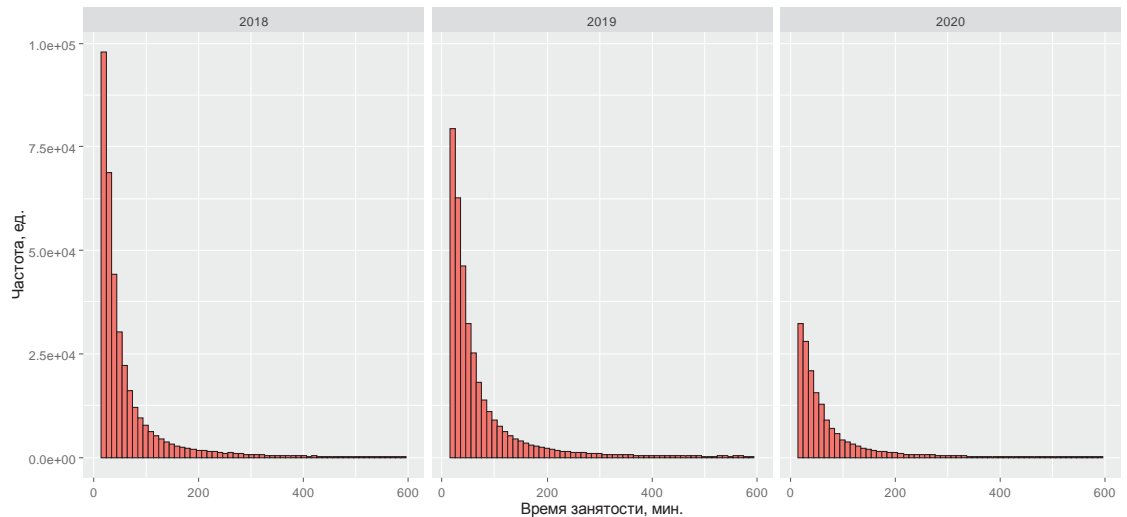


Рис. 1. Распределение пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2018 и 2019 годах и в первое полугодие 2020 года, по показателю времени занятости

На диаграмме (рис. 1) частота показателя рассчитана по интервалам в 10 мин. На первый интервал (10, 20) приходится порядка 24 % случаев пожаров и далее – по нисходящей. Можно утверждать, что показатель распределен по экспоненциальному закону, значения правого хвоста стремятся к нулю. Показатель P_w для более чем 50 % пожаров не превышает 40 мин, а более 90 % – 1 ч 20 мин.

Предварительная оценка P_w показывает, что показатель характеризуется рядом особенностей. По модели диаграммы Ганта [1] (рис. 2) показателю P_w соответствует интервал времени (τ_2 ; τ_7). Для каждого отдельно взятого пожарно-спасательного гарнизона в течение произвольного интервала времени возможны различные сочетания P_w , от полного отсутствия пожаров и до полной загруженности подразделений гарнизона на одном или нескольких одновременно происходящих пожарах.

В целом анализ показателей времени связан со множеством трудностей, например: 1) необходимость использования смешанной системы счисления – для секунд, минут и часов применяется 60-ричная система счисления, для суток 12 или 24-ричная; 2) разные месяцы складываются из различного количества суток; 3) год может состоять из 365 или 366 суток; 4) наличие часовых поясов для географических регионов; 5) сезонное время (летнее и зимнее); 6) високосная секунда (англ. leap second) и т. д. В компьютерных расчетах для уменьшения влияния перечисленных факторов используется Unix-время, где время определяется в секундах от полуночи 1 января 1970 г. Но результаты расчетов необходимо все же представлять в формате, удобном для человека.

В рамках проводимого анализа процесс, показанный на диаграмме (см. рис. 2), рассматривается как одномерный временной ряд, представляющий собой последовательность значений переменной P_w , которой соответствуют показатели, регистрируемые через нерегулярные промежутки времени. При этом решались следующие задачи: 1) прогнозирование; 2) выявление структурных изменений и аномалий; 3) кластеризация.

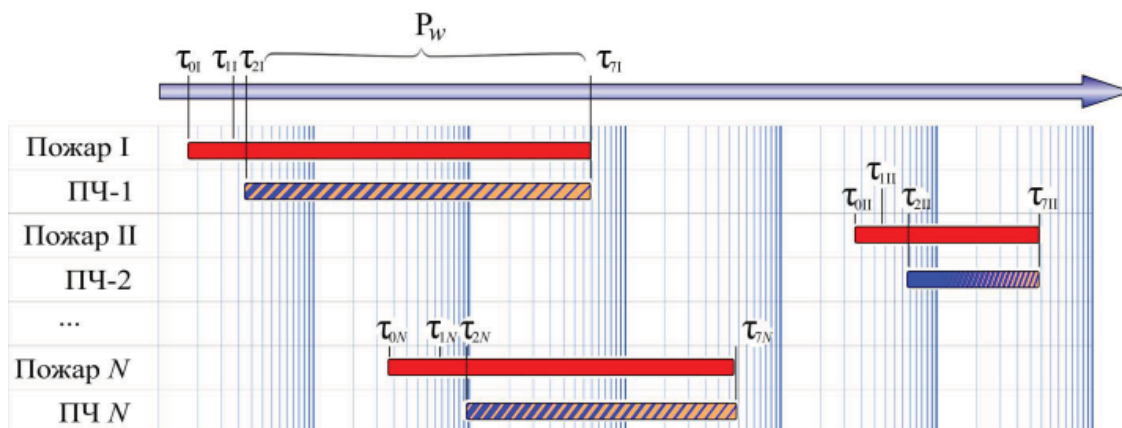


Рис. 2. Модель процессов развития пожара и деятельности пожарных подразделений: τ – показатель времени, индексы: 0 – возникновение пожара; 1 – обнаружение; 2 – сообщение в пожарную охрану; 7 – ликвидация пожара; P_w – время занятости

В нашем случае одномерный временной ряд из наблюдений y_t , учтенных в моменты времени t , раскладывался на следующие составляющие (компоненты):

- тренд T_t , характеризующий долговременную тенденцию в данных;
- циклическая компонента C_t – долговременные циклические колебания;
- сезонная компонента S_t – кратковременные периодические изменения, обладающие фиксированной частотой;
- нерегулярная компонента ε_t – эффекты случайных факторов («шум»).

Хотя функциональная связь между названными компонентами может принимать разнообразные формы, в рамках исследования рассматривались зависимости двух видов:

- аддитивная модель: $y_t = T_t + C_t + S_t + \varepsilon_t$;
- мультипликативная модель: $y_t = T_t \cdot C_t \cdot S_t \cdot \varepsilon_t$.

Ввиду того, что длина временного ряда с 2015 по 2020 год не позволяет достаточно надежно определить характеристики циклической компоненты C_t , она была рассмотрена довольно поверхностно, возможно, в последующих исследованиях это будет исправлено.

Аддитивная модель лучше применима для стационарных временных рядов, в которых среднее значение и дисперсия y_t относительно постоянны для всех t . Мультипликативная модель лучше подходит для описания нестационарных рядов, где имеет место выраженный тренд и увеличение дисперсии y_t во времени.

Математическая обработка показателей проводилась в программной среде R [2] с использованием инструментов пакета tsibble [3]. Выбор tsibble обусловлен необходимостью обрабатывать данные, которые характеризуются нерегулярной регистрацией наблюдений во времени, наличием нескольких переменных разных типов, нескольких группирующих переменных и т. п.

Далее приводится диаграмма суммарных суточных показателей P_w по произвольно выбранным регионам Российской Федерации за 2019 год.

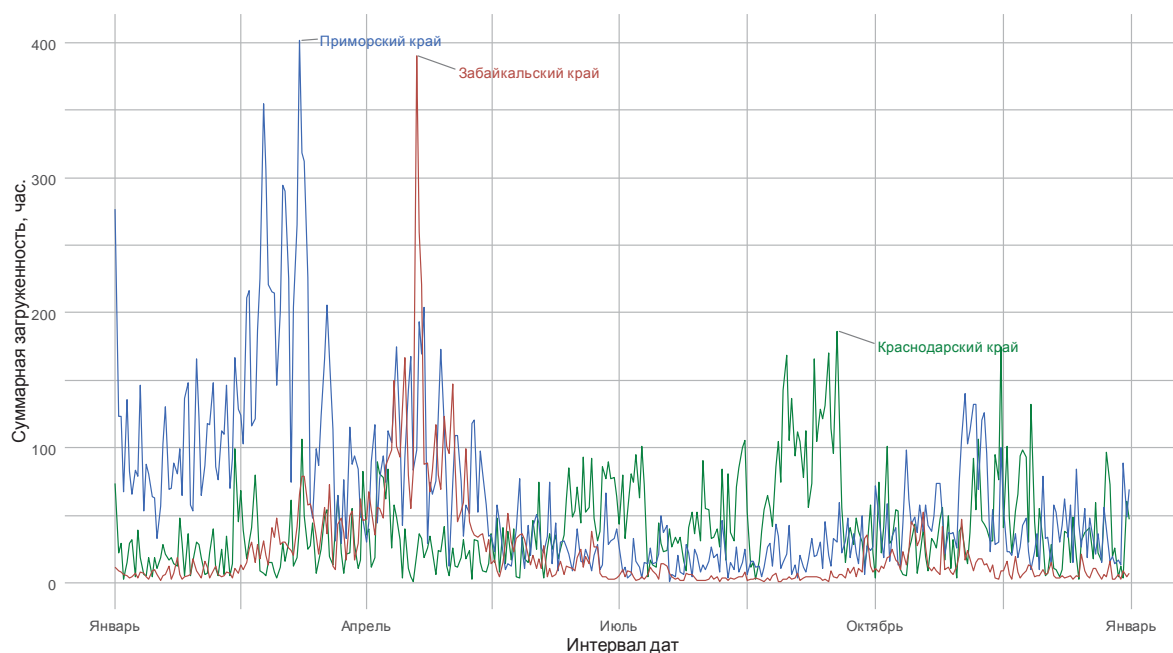


Рис. 3. Суммарная суточная занятость пожарно-спасательных подразделений Забайкальского, Краснодарского и Приморского краев

На диаграмме (рис. 3) представлены сведения за 365 суток по трем регионам, то есть более 1000 точек. Визуально достаточно трудно определить складывающиеся тенденции, поэтому целесообразно применять сглаживание кривых. Хотя при этом возможно снижение детализации представляемых данных. На следующей диаграмме (рис. 4) приведены показатели занятости по тем же регионам, полученные с применением обобщенной аддитивной модели на основе кубических сплайнов.

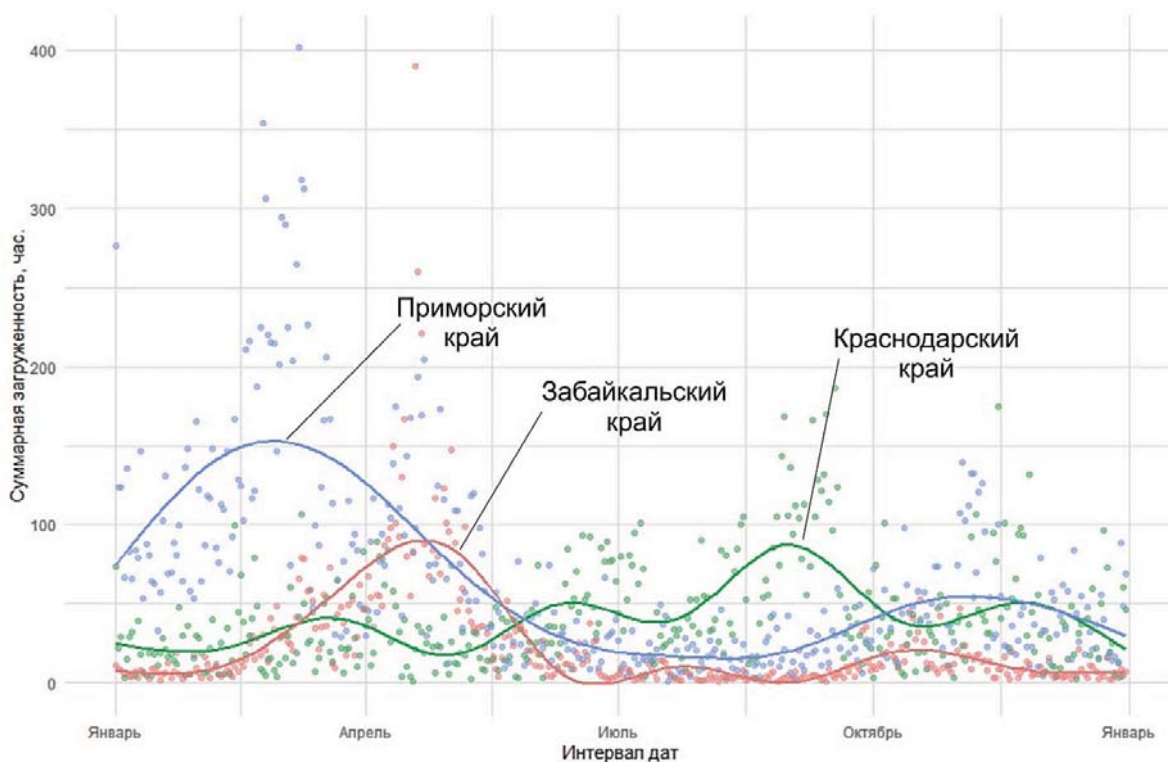


Рис. 4. Сглаженные показатели суммарной суточной занятости пожарно-спасательных подразделений Забайкальского, Краснодарского и Приморского краев

Сведения о времени возникновения и продолжительности пожаров по всей рассматриваемой совокупности (см. рис. 6) представлены в виде матрицы M размерами $1440 \times N$, где 1440 – продолжительность суток в минутах, N – общее количество пожаров. Каждый пожар представлен строкой-вектором вида $(a_1, \dots, a_i, \dots, a_{1440})$. Например, пожар № 1 (см. рис. 6) записывается вектором $M_1 = (0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, \dots, 0)$, состоящим из 10 единиц и 1430 нулей. Положение совокупности единиц определяется значением времени начала и продолжительностью пожара. В данном случае пожар № 1 начался на 2-й мин, а закончился через 10 мин на 11-й.

Несколько сложнее обстоит дело с так называемыми переходящими пожарами, то есть такими, начало и окончание которых приходится на разные сутки, на рис. 6 это № 2 и № 3. На первоначальном этапе исследований значения интервалов, превышающие 1440, просто отбрасывались, что приводило к значительным ошибкам. В дальнейшем переходящие пожары представлялись в виде матрицы с несколькими строками. Например, для пожара № 2, начавшегося на 4-й мин первых суток и закончившегося на 8 следующих, матрица M_2 имеет размеры 1440×2 . Далее M_2 путем суммирования столбцов приводится к вектору. Пожар № 3 продолжался более двух суток (2883 мин \sim 48 ч), начавшись на 3-й мин первых суток и закончившись на третьи сутки на 5-й мин. Соответственно матрица M_3 имеет размер 1440×3 . Для получения окончательного результата вычисляется сумма $\sum P_w = M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n$. На диаграмме (рис. 7) представлены результаты вычисления P_w по Российской Федерации за период с 2018 по 2019 год.

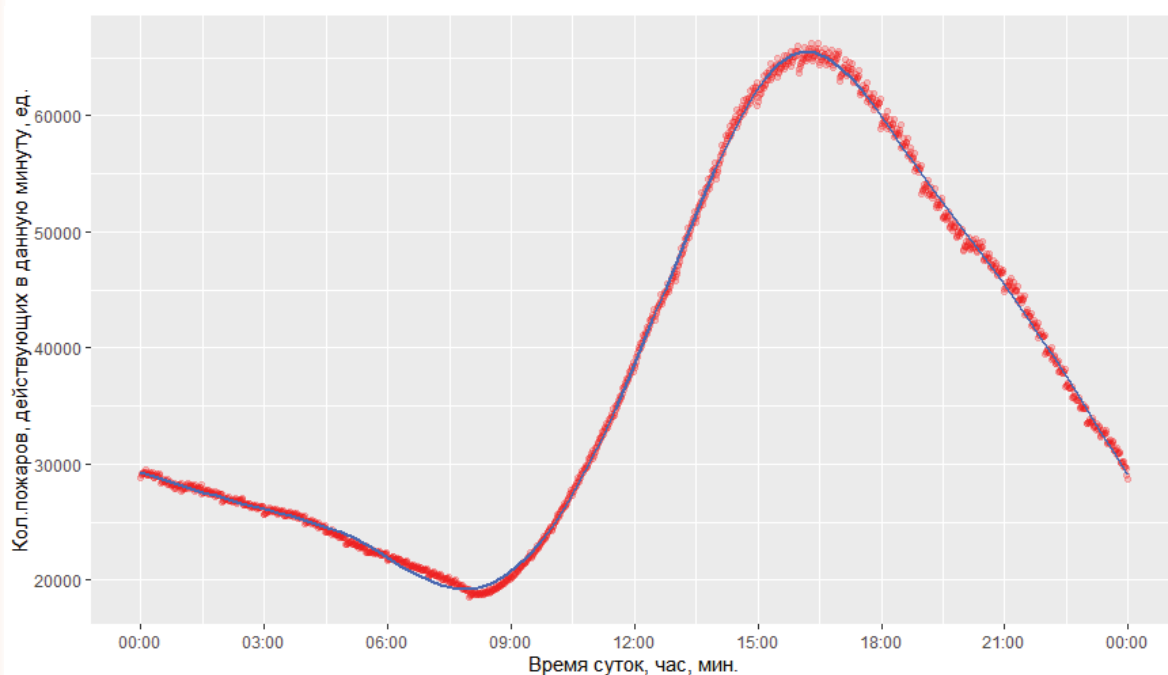


Рис. 7. Общее количество пожаров в Российской Федерации за 2018 и 2019 годы с распределением по минутам суток

Как видно на диаграмме (см. рис. 7), наибольшая загруженность боевой работой для пожарно-спасательных подразделений Российской Федерации приходится на период с 15 до 18 ч. Наименьший уровень загруженности по итогам исследований определен на период с 7 до 9 ч. В результате проведенных исследований подтверждены исторически сложившиеся предпочтения в выборе параметра времени для проведения смены дежурства караулов в пожарно-спасательных подразделениях.

Использование современных перспективных средств обработки информации в научных исследованиях, в данном случае программной среды R, позволяет по-новому взглянуть на устоявшиеся приемы и методы организации рабочего процесса. Результаты дифференцированного изучения статистических характеристик различных интервалов служебной деятельности (суток, месяцев, сезонов и т. п.) отдельных гарнизонов и подразделений с учетом степени влияния внешних и внутренних факторов в перспективе создает предпосылки для проведения оптимизации и модернизации организации деятельности, как отдельных подразделений, так и гарнизонов и службы в целом. Применение более точных расчетных методов позволяет определять достаточно достоверные параметры для установления баланса между мероприятиями, планируемыми индивидуально для отдельных подразделений, и общими для гарнизона или всей противопожарной службы в целом.

Список литературы

1. Flouris, Triant G.; Lock, Dennis (2012). *Managing Aviation Projects from Concept to Completion*. Ashgate Publishing Limited. ISBN 978-1-4094-8613-8.
2. R – язык программирования [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 25.08.2020 г.).
3. Сайт технической поддержки tsibble [Электронный ресурс]: <https://tsibble.tidyverts.org/index.html> (дата обращения: 25.08.2020 г.).

Материал поступил в редакцию 26.08.2020 г.

Власов Константин Сергеевич – кандидат технических наук, начальник отдела. E-mail: vlasov-k@yandex.ru (Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)), г. Балашиха, Московская область, Россия.

K.S. Vlasov

ANALYTICAL JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL TIME FOR CHANGE OF GUARDS ON DUTY IN FIRE SERVICE DIVISIONS

There are historically established approaches for solving various issues, in particular, to determining the change of guard on duty time in the context of operative activities of fire service divisions. The use of new mathematical methods and information technologies allows considering in detail the advisability of choosing the time of changing of guard, as well as its impact on other aspects of activities of fire service divisions. The article describes the main methodological approaches for solving the problem, in particular, using the tools of the R software environment.

Keywords: *combat readiness, fire department subdivisions, guard on duty, R software environment, time of changing of guard, representative sampling*

Konstantin S. Vlasov – Candidate of Technical Sciences, Head of Department. E-mail: vlasov-k@yandex.ru.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.