

УДК 614.841

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.007](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.007)

Системные модели управления ресурсами противопожарной службы Вьетнама

В.А. Минаев¹✉, А.И. Овсяник², Кйеу Туан Ань²

¹Московский университет МВД России им. В. Я. Кикотя, Москва, Российская
Федерация

²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Российская Федерация
mIva@yandex.com✉

Резюме. Активизация исследований, связанных с решением задач оптимального управления противопожарной службой, направлена на системный учет территориальных различий пожарных рисков, целевого применения ее ресурсов различного типа, обеспечивающего экономичный режим их расходования на основе многомерной типологизации пожарной обстановки, принципов и моделей теории активных систем. Статья продолжает развитие указанных перспективных идей применительно к кадровым, материально-техническим, финансовым и иным ресурсам противопожарной службы. Недостаточная развитость системных исследований по данным направлениям сдерживает разработку эффективных методических и технологических решений по целенаправленному снижению пожарных рисков и ущербов от пожаров. Выявление перспективных направлений в области моделирования пожарных рисков с учетом влияния на них ресурсного обеспечения противопожарной службы, а также построение системы практических моделей оптимального управления ее ресурсами с целью уменьшения напряженности пожарной обстановки. В качестве основных использованы методы оптимальной аппроксимации эмпирических данных, методы теории активных систем, многомерной классификации объектов, в числе которых выступают территориальные кластеры, характеризующие различную пожарную обстановку в провинциях Вьетнама. На основе теоретических и экспериментальных исследований определены зависимости обеспечения ресурсами различного типа (пожарные автомобили, материально-технические средства и др.) от количества пожарных-бойцов в различных округах Вьетнама. На основе полученных результатов разработана методика территориально-динамического распределения ресурсов противопожарной службы. Сделан вывод о ее научно-практической новизне по сравнению с существующими подходами. Результаты исследований представляют возможность, сопоставляя существующую административную структуру Вьетнама и результаты типологизации его территорий в однородные группы (кластеры) по пожарной обстановке, применять приведенные в статье расчеты для более эффективного и целенаправленного управления ресурсами противопожарной службы. Пожарные автомобили по административным округам Вьетнама могут быть распределены оптимальным образом в соответствии с прогнозными величинами пожарных-бойцов в стране и числом пожаров в округах. Другие ресурсы противопожарной службы целесообразно привязывать к вышеприведенным прогнозным расчетам, применяя либо традиционные нормативные оценки, либо новые алгоритмы, основанные на развитии модельных исследований.

Ключевые слова: Вьетнам, противопожарная служба, ресурсы, моделирование, оптимальное территориальное распределение.

Для цитирования: Минаев В.А., Овсяник А.И., Кйеу Туан Ань. Системные модели управления ресурсами противопожарной службы Вьетнама. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1166>. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.007

System models of Vietnam fire service resources management

V.A. Minaev¹, A.I. Ovsyanik², Kieu Tuan Ahn²

¹*V. Ya. Kikot Moscow University of the Internal Affairs Ministry of Russia, Moscow, Russian Federation*

²*Academy of the State Fire Service Academy of the Russia EMERCOM Ministry, Moscow, Russian Federation*
mIva@yandex.ru

Abstract. The intensification of research related to solutions to the problems of fire service optimal management is aimed at systematic consideration of the territorial differences of fire risks, the targeted use of its diverse resources, providing an economical mode of their expenditure, based on the multidimensional classification of the fire situation, principles and models of the active systems theory. The article continues the development of these promising ideas with reference to personnel, logistical, financial and other resources of fire service. Insufficient coverage of these areas in systemic research hinders the development of effective methodological and technological solutions to purposefully reduce fire risks and damage from fires. Identification of promising areas in the field of fire risk modeling with due account for the impact of anti-fire service resource provision on them, as well as the construction of a system of practical models for optimal management of its resources in order to reduce the tension of the fire situation. The main methods employed are the optimal approximation of empirical data, methods of the active systems theory, multidimensional classification of objects, such as territorial clusters that characterize different fire conditions in the provinces of Vietnam. Drawing on theoretical and experimental studies, the dependences of the resource provision of various types (fire trucks, logistics, etc.) on the number of firefighters in various districts of Vietnam have been determined. Based on the findings, a methodology for the territorial-dynamic allocation of fire service resources was developed. The conclusion is made about its scientific and practical novelty in comparison with existing approaches. The results of the research show that by contrasting the existing administrative structure of Vietnam and the results of classifying its territories into homogeneous groups (clusters) according to the fire situation, it is possible to apply the calculations given in the article to a more efficient and focused management of fire service resources. Fire trucks in the administrative districts of Vietnam can be distributed optimally by projected values of firefighters in the country and projected number of fires in the districts. It is advisable to connect other resources of the fire service with the forecast calculations outlined above, utilizing either traditional normative estimates or new algorithms based on the development of model studies.

Keywords: Vietnam, fire service, resources, modeling, optimal territorial allocation.

For citation: Minaev V.A., Ovsyanik A.I., Kieu Tuan Ahn. System models of Vietnam fire service resources management. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1166> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.007 (In Russ).

Введение

Наблюдающийся в XXI веке стабильно высокий экономический рост во Вьетнаме связан с увеличением энергопотребления, внедрением принципиально новых технологий производства, скорости урбанизации территорий, роста масштабов промышленного производства, зон переработки товаров, торговых центров. Выразился он и в негативных явлениях, в числе которых рост числа пожаров на предприятиях, в учреждениях, жилом секторе страны. Таким образом, в целом позитивное явление, связанное с улучшением экономического благополучия страны, одновременно привело к расширению поля пожарных рисков.

Это свидетельствует о том, что проблематика рисков является весьма сложной областью пожарной науки, требуя все более совершенного инструментария для своего

исследования. Именно с этим направлением, характеризующимся необходимостью создания комплексных моделей управления ресурсами противопожарной службы, направленного на снижение пожарных рисков, связана тема настоящей статьи.

В работе исследуются методы системного подхода, основанные на кластерном анализе и оптимизационном моделировании, направленные на повышение эффективности управления ресурсами территориально распределенной противопожарной службы.

Материалы и методы

Для использования системы моделирования при управлении ресурсами противопожарной службы следует исходить из территориально распределенных значений показателей индивидуальных пожарных рисков (ИПР) [1]: R_1 – риск оказаться в условиях пожара в единицу времени; R_2 – риск погибнуть при пожаре; R_3 – риск погибнуть при пожаре в единицу времени.

Анализ пожарной обстановки и ИПР в территориальных образованиях Вьетнама показали, что пожарные риски R_1 в округах Дельта Хонгхи и Дельта Меконга имеют наименьшие величины. В то же время, риски R_2 меньше всего в Центральном нагорье и Юго-Восточном округе, а риски R_3 – в Центральном нагорье.

Наиболее напряженная пожарная обстановка по рискам R_1 сохраняется в Северном Мидленсе и горных провинциях, а также в Юго-Восточном округе. По рискам R_2 – в округах Дельта Хонгхи и Дельта Меконга. По рискам R_3 – в округах Дельта Хонгхи, Дельта Меконга и Северном Мидленсе и горных провинциях, где показатели ИПР достигли значений, существенно превышающих значения пожарных рисков в других округах Вьетнама. Отметим, что округа, характеризующиеся средними показателями по каждому из рисков, составляют одну треть всех административных единиц Вьетнама.

Таким образом, можно сделать вывод, что на уровне округов Вьетнама состояние пожарной обстановки по индивидуальным показателям рисков весьма неоднородно.

В целях увеличения эффективности управления системой пожарной безопасности страны сложившаяся ситуация требует: расширения исследований детерминант пожарных рисков с учетом специфики каждого из округов Вьетнама, особенно факторов, обусловленных ресурсной обеспеченностью противопожарной службы; обоснования и разработки комплексных показателей использования ресурсов в борьбе с пожарами; нахождения устойчивой типологической картины в отношении территориальных пожарных рисков.

Кроме того, требуется создание оптимизационных моделей управления ресурсами противопожарной службы в территориальных образованиях: больших городах, округах, провинциях. Отсутствие таких моделей приводит, по крайней мере, к двум серьезным проблемам: несоответствию общепринятым в мире нормативам организации территориального обслуживания населения противопожарной службой; недостаточному учету территориальных особенностей и различий в пожарной обстановке при распределении ресурсов противопожарной службы.

Принимая во внимание достаточно сложную обусловленность пожарных рисков во Вьетнаме [4], необходимо для поиска приемлемой территориальной типологии по ним использовать методы многомерного статистического анализа.

Чтобы учесть территориальные аспекты пожарной опасности во Вьетнаме, относящиеся к жилым массивам, промышленным и сельскохозяйственным объектам, в рассмотрение включены показатели таких факторных комплексов как климатический, социально-экономический, демографический, урбанизационный; учтены

характеристики электрификации, транспортной доступности, развития торговли; существенно расширен набор ресурсных параметров – кадровых, финансовых, материально-технических и иных, относящихся к деятельности противопожарной службы; организационно-управленческий – предупреждение пожаров, учет пожарной опасности территориальных объектов; принято во внимание наличие целого ряда природных, техногенных и антропогенных рисков.

Для практического решения задачи многомерной кластеризации провинций Вьетнама по пожарным рискам применен программный пакет Statistica, в рамках которого имеется развитый модуль кластерного анализа.

По сравнению с работой [5], факторный комплекс детерминации пожаров в стране существенно дополнен новыми характеристиками, отражающими ресурсное обеспечение противопожарной службы Вьетнама. В него добавлены 18 относительных показателей кадрового, финансового и материально-технического обеспечения.

Исследование показало, что характеристики, детерминирующие пожарные риски в жилом секторе и секторе хозяйствующих субъектов различаются, пересекаясь в некоторой своей части. В то же время сама типология для указанных секторов в своей основе принципиально не изменилась, оказавшись весьма устойчивой к введению новых исходных показателей. Разница проявилась применительно лишь к некоторым единичным провинциям, локализованным на границах кластеров и перешедшим в соседние кластеры. Это свидетельствует о том, что система исходных показателей в работе [5] оказалась достаточно полной, выбранной логично и обоснованно.

Рассмотрена динамика характеристик с 2006 по 2020 годы, а также их усредненный показатель за те же годы. Для устранения сильно связанных показателей и снижения размерности пространства типологизации использовался корреляционный анализ. Таким образом, типологизация в окончательном виде производилась в пространстве практически не связанных, а также слабо связанных показателей (абсолютные значения коэффициентов корреляции между ними брались не выше 0,4).

Затем с привлечением экспертов проводился анализ вариантов, среди которых выбирался тот, где выделенные кластеры подчинялись основным условиям: компактность расположения на территории Вьетнама; схожесть социально-экономических условий, состояния пожарной обстановки, характеристик ресурсов (сил и средств противопожарной службы).

Выбор меры расстояния между кластерами и метода кластеризации провинций осуществлялся путем перебора всех вариантов, предусмотренных в программном пакете Statistica.

Среди метрик расстояния между кластерами исследовались шесть включенных в указанный программный пакет вариантов: евклидово расстояние; квадрат евклидова расстояния; манхэттенское расстояние; расстояние Чебышева; расстояние Минковского; коэффициент корреляции Пирсона.

В качестве методов кластеризации применялись включенные в пакет иерархические (древовидные) процедуры кластерного анализа: правило одиночной связи (ближайшего соседа); правило полных связей (наиболее удаленных соседей); правило невзвешенного попарного среднего; правило взвешенного попарного среднего; невзвешенный центроидный метод; взвешенный центроидный метод; правило Варда.

Алгоритм типологизации состоял из восьми последовательных этапов с обратными связями: формирование комплексной системы показателей пожарной опасности; устранение сильно связанных показателей; стандартизация показателей; выбор меры расстояния между кластерами; выбор метода кластеризации; кластеризация провинций по пожарной опасности; интерпретация результатов типологизации; корректировка результатов типологизации.

По результатам расчетов экспертам в итоге были представлены 15 вариантов типологизации, отражающих различные сочетания метрик расстояний и методов кластеризации. Наиболее логичной и соответствующей приведенным выше условиям экспертами избрана изображенная на Рисунке 1 типологизация территорий Вьетнама, которая отражает комплексную классификацию по двум рассматриваемым секторам.

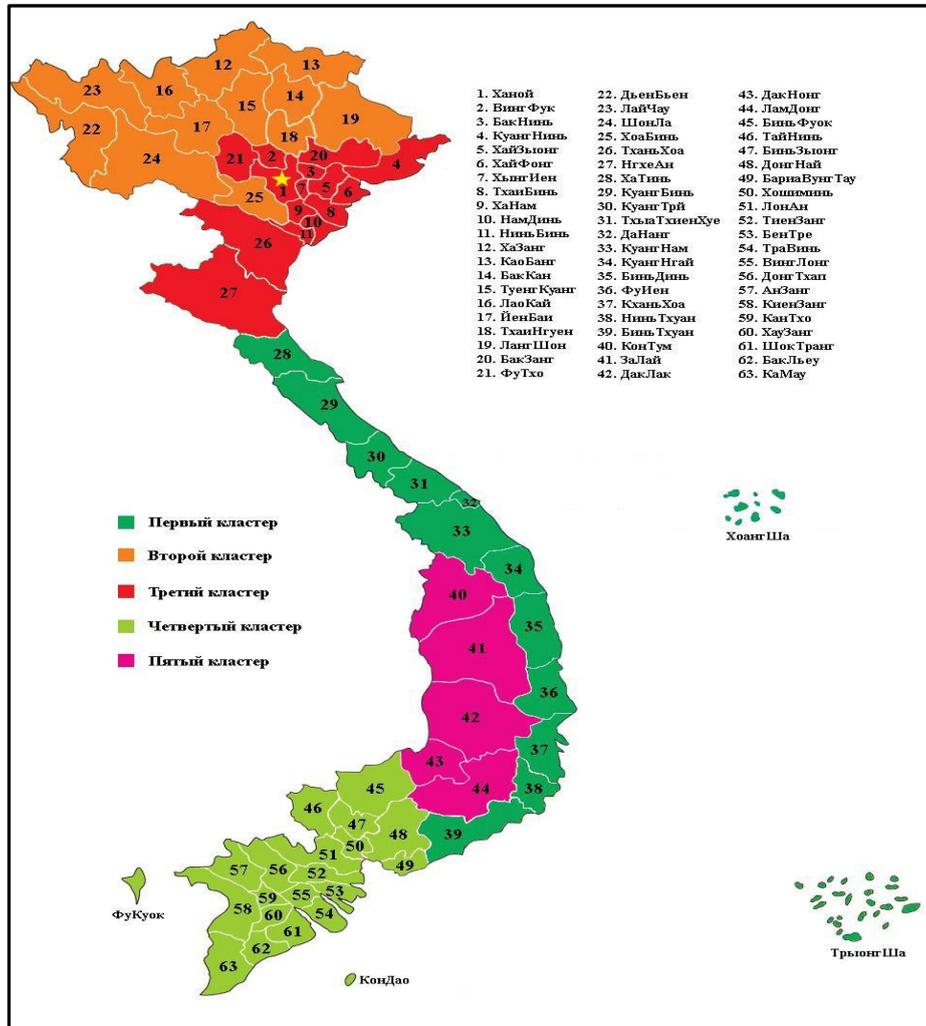


Рисунок 1 – Комплексная типология территорий Вьетнама по состоянию пожарной опасности
Figure 1 – Complex typology of Vietnam territories according to state of fire danger

Указанная типология найдена с помощью метода взвешенного попарного среднего (WPGMA). При этом метрикой выступала обратная величина коэффициента Пирсона, обычно применяемая для большого количества переменных.

Проведем сравнительный анализ выделенных территориальных кластеров Вьетнама по состоянию пожарных рисков в каждом из секторов.

Если исходить из среднего числа погибших в пересчете на один пожар в жилом секторе, наиболее тяжелая обстановка наблюдается в пятом кластере – 0,05. Затем следуют кластеры под номерами 1 и 3 – 0,04. И далее со снижением – четвертый кластер – 0,03 и первый кластер – 0,02.

Если рассматривать количество травмированных в жилом секторе в расчете на

один пожар, то здесь на первом месте третий кластер – 0,133; затем следует четвертый кластер – 0,086; потом пятый – 0,071; первый – 0,058; второй – 0,036.

Если говорить о среднем материальном ущербе от одного пожара, то здесь распределение кластеров совпадает с их распределением по количеству травмированных на пожарах в жилом секторе на тысячу населения. При этом ущерб на один пожар в жилом секторе в среднем по Вьетнаму составил 7,5 тыс. долларов.

Для системности рассмотрения пожарной обстановки в территориальных кластерах Вьетнама охарактеризованы важные показатели, определяющие факторный комплекс рисков – климатические, социально-демографические, финансово-экономические, показатели электрификации, транспортной обеспеченности, ресурсной обеспеченности противопожарной службы.

Кластерный анализ позволяет сравнить территориальные образования по показателям ресурсного обеспечения противопожарной службы. Его результаты являются исходной информацией для построения оптимизационных моделей. Одним из таких показателей является количество пожарных-бойцов на тысячу населения (Рисунок 2).

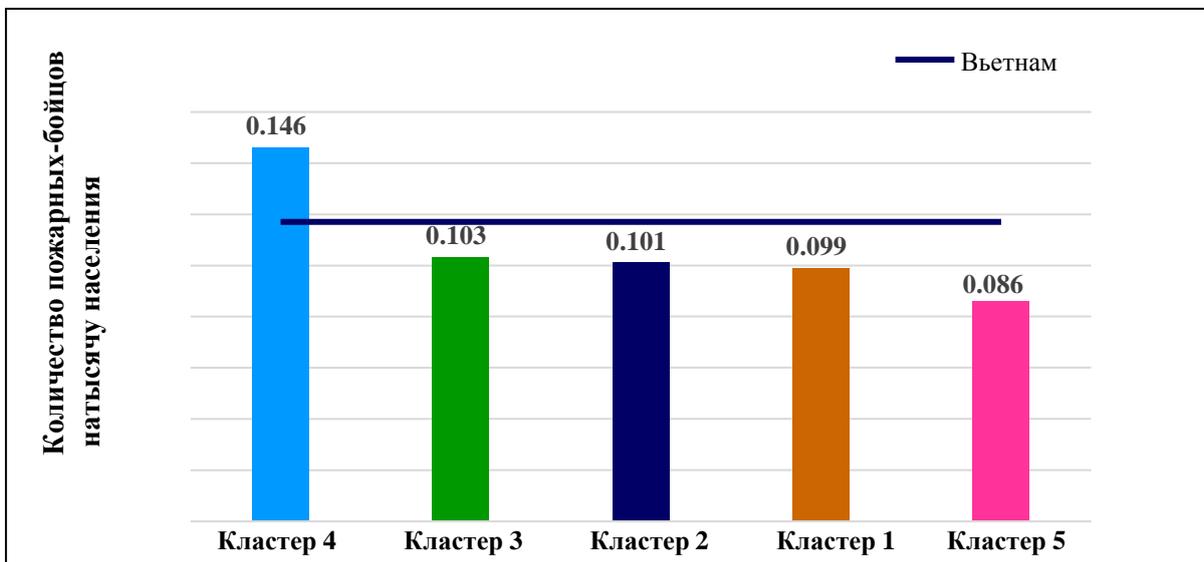


Рисунок 2 – Количество пожарных-бойцов на тысячу населения в кластерах
Figure 2 – Number of firefighters per thousand population in clusters

Из Рисунка 2 видно, что кластеры 1-3 примерно одинаковы по этому показателю, в то время как в четвертом кластере он значительно превышает среднюю характеристику по Вьетнаму, а в пятом – на ту же величину ниже ее.

Если говорить о другой относительной характеристике – количестве пожарных на один пожар в кластерах (Рисунок 3), то она также максимальна в четвертом кластере (6,12), существенно снижаясь по кластерам 3 – 5 – 1 – 2 до величины 2,95.

Итоговая комплексная типология территорий по пожарной опасности (хозяйствующие субъекты плюс жилой сектор), осуществленная с помощью метода кластеризации Варда с метрикой в виде расстояния Манхэттена совпала с типологией территорий по рассматриваемым секторам (хозяйствующие субъекты, жилой сектор).

Несмотря на значимое ресурсное дополнение системы показателей, положенных в основу типологизации территорий Вьетнама, последняя сохраняет свою устойчивость, о чем свидетельствуют проведенные ранее исследования [2, 3]. Таким образом, комплекс исходных характеристик, отражающих пожарные риски, выбран достаточно корректно

и полно. Поэтому результаты кластерного анализа достаточно надежны для решения задачи оптимального управления ресурсами противопожарной службы как в территориальном, так и динамическом аспектах.

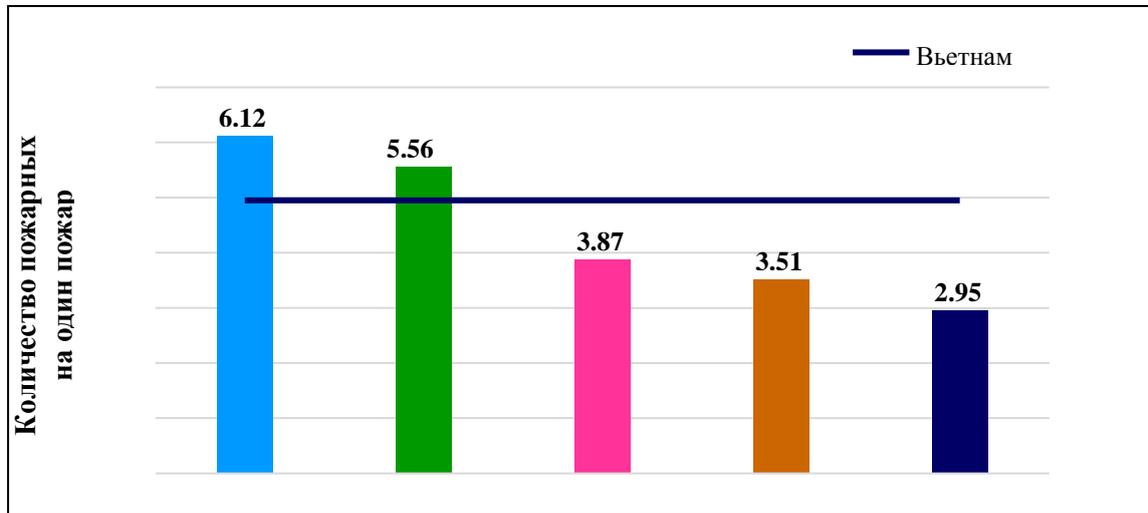


Рисунок 3 – Количество пожарных-бойцов на один пожар в кластерах
Figure 3 – Number of firefighters per fire accident in clusters

Далее рассмотрим результаты моделирования влияния ресурсной обеспеченности противопожарной службы на состояние пожарной обстановки. Результаты такого анализа необходимы для выбора целесообразных, а также оптимальных стратегий распределения кадровых ресурсов противопожарной службы в соответствии со складывающейся и прогнозируемой обстановкой по пожарам в стране и ее округах.

Проведен модельный анализ системы показателей ресурсной обеспеченности противопожарной службы. На примере одного из них покажем результаты. А именно, рассмотрим относительную ресурсную характеристику обеспеченности противопожарной службы «количество погибших на пожарах к суммарным годовым затратам на обеспечение службы пожарной безопасности материально-техническими средствами» (Рисунок 4). Синим цветом показаны эмпирические данные, черной кривой – результаты моделирования.

Высокий коэффициент объясняемости, равный 90 %, дает возможность качественно прогнозировать возможное число погибших на пожарах в зависимости от затрат на материально-техническое обеспечение противопожарной службы.

Анализ поведения показателя «погибшие/затраты», а также «травмированные/затраты» от времени приводит к выводу о том, что высокие коэффициенты объясняемости использовавшихся экспоненциальных зависимостей как в целом по Вьетнаму, так и по его территориальным кластерам, дают возможность обосновывать стратегию управления материально-техническими ресурсами противопожарной службы в территориально-динамическом аспекте с целью минимизации числа погибших и травмированных на пожарах, сравнивать эффективность использования материально-технических ресурсов в различных территориальных кластерах; глубже изучать факторные комплексы, определяющие пожарную обстановку на территориях Вьетнама.

Итак, подтверждены результаты ранее проведенных исследований [2, 3], что наиболее объясняемым образом как в целом по стране, так и в разрезе кластеров ведут себя показатели удельной нагрузки по числу погибших на пожарах, приходящихся на одного пожарного (УНПП), а также удельной нагрузки по числу травмированных на

пожарах, приходящихся на одного пожарного (УНТП). Они с коэффициентом объясняемости около 90 % подчиняются экспоненциальным временным зависимостям типа $a \exp(-b \cdot t) + c$ (где a, b, c – постоянные коэффициенты, различные в разных кластерах), отличающихся значениями пожарных рисков.

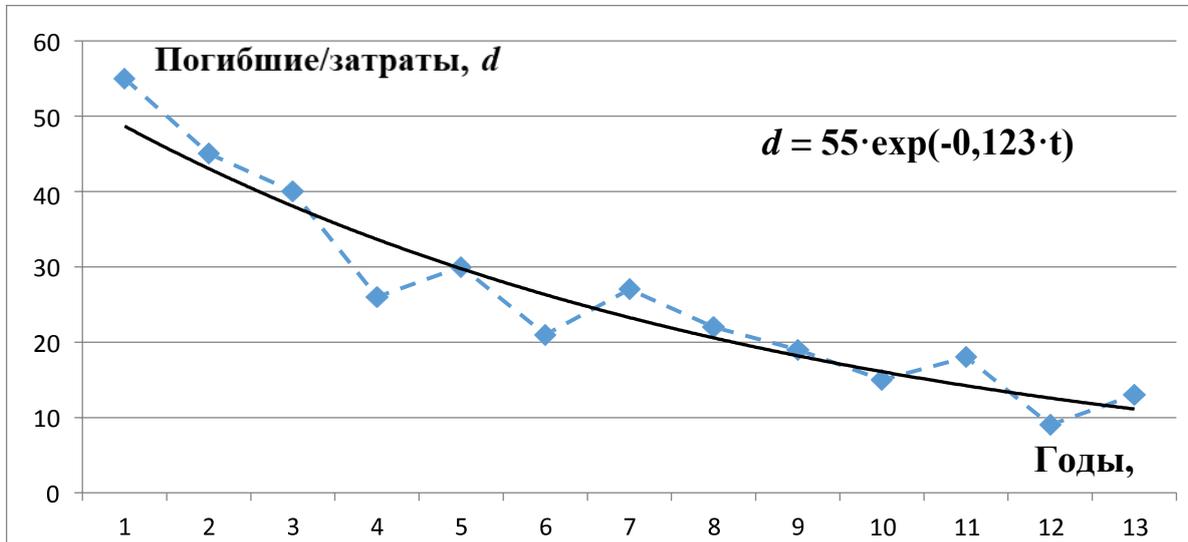


Рисунок 4 – Динамика отношения «число погибших на пожарах к суммарным годовым затратам на обеспечение службы пожарной безопасности материально-техническими средствами» во Вьетнаме (2008-2020 гг.)

Figure 4 – Dynamics of the ratio “the number of people who died in fires to the total annual costs of providing fire safety service with material and technical means” in Vietnam (2008-2020)

Исходя из этого обстоятельства, сформирован комплексный удельный показатель s , учитывающий как погибших, так и травмированных на пожарах. В аддитивном виде в нем учтены показатели удельных нагрузок УНПП – d_i и УНТП – w_i , взвешенные нормировочными коэффициентами:

$$s_i = \alpha \cdot d_i + \beta \cdot w_i, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, I$ – номера точек наблюдения (годы), I – общее число лет наблюдения; α – вес d_i ; β – вес w_i . На сумму весовых коэффициентов налагается ограничение:

$$\alpha + \beta = 1. \quad (2)$$

После нахождения весовых коэффициентов α, β и параметров наилучшую модель для Вьетнама представим в виде:

$$s_k = (0,555 \cdot d_k + 0,445 \cdot w_k) = 0,0025 \cdot \exp(7 \cdot h_k); \quad k = 1, \dots, K, \quad (3)$$

где h_k – количество пожаров, приходящихся на одного пожарного в k -ом кластере; K – общее число территориальных кластеров, различающихся пожарной обстановкой.

Для оптимального территориального распределения кадровых ресурсов противопожарной службы по кластерам построена математическая модель типа «затраты-результаты». Применительно к k -му кластеру целевая функция представлена в виде:

$$\varphi_k = \varphi_k(F_k, R_k, \overline{\gamma_k}),$$

где F_k – число пожаров в k -ом территориальном кластере, R_k – количество пожарных в k -ом кластере, $\overline{\gamma}_k$ – вектор параметров целевой функции в k -ом кластере.

Принято, что эта функция монотонно увеличивается в области $0 < R_k < \infty$. будучи асимптотически ограниченной сверху [4-7]:

$$\varphi_k(F_k, \infty, \overline{\gamma}_k) = A_k = const. \quad (4)$$

Целевая функция общей системы противопожарной службы Вьетнама (Центр) Φ_u определяется целевыми функциями ее подразделений в кластерах, представляясь в виде их суммы:

$$\Phi_u = \sum \varphi_k; k = 1, \dots, K \quad (5)$$

Центр располагает ограниченными ресурсами и стремится достичь оптимального значения общей целевой функции, определяя целевые функции активных элементов (противопожарных служб в кластерах) путем выбора такого распределения кадровых ресурсов, который стимулирует их к совершенствованию оперативно-служебной деятельности при тушении пожаров и интенсификации использования ресурсов [4-7].

Задача оптимального территориального распределения кадровых ресурсов при известной зависимости φ_k и параметрах γ_k ставится в виде:

$$\Phi_u = \sum \varphi_k(F_k, R_k, \overline{\gamma}_k) \rightarrow \text{optim}, k = 1, \dots, K, \quad (6)$$

R

при

$$\sum R_k = R, \quad (7)$$

где R – общие кадровые ресурсы, которыми располагает Центр.

Для формирования целевой функции использована обратная величина зависимости (3),

$$\varphi_k = 400 \cdot [1 - \exp(-7 \cdot h_k)], \quad (8)$$

которая всегда больше нуля, монотонно увеличиваясь, стремится к величине 400.

Учитывая малость h_k , с целью получения практически удобных аналитических зависимостей для оптимального распределения кадровых ресурсов по кластерам, упростим выражение (8), разложив экспоненту в ряд Маклорена. Тогда:

$$\varphi_k \approx 400 \cdot [1 - 1 + 7 \cdot h_k - \frac{7^2}{2!} \cdot h_k^2 + \frac{7^3}{3!} \cdot h_k^3 - \dots] \quad (9)$$

или

$$\varphi_k \approx 400 \cdot h_k \cdot (7 - 25 \cdot h_k + 57 \cdot h_k^2 - \dots); k=1, 2, \dots, K. \quad (10)$$

Целевая функция Центра в этом случае представляется в виде:

$$\Phi_u \approx 400 \cdot \sum_{k=1}^{k=K} h_k (7 - 25 \cdot h_k + 57 \cdot h_k^2) \quad (11)$$

Подчеркнем, что учет членов более высокого порядка, чем квадратичный в разложении Маклорена, не позволяет улучшить аналитическое представление оптимального распределения. Этот вывод весьма важен для специалистов в области аналитической работы противопожарной службы, а также ее руководителей.

Задача оптимального распределения Центром кадровых ресурсов противопожарной службы Вьетнама между K кластерами ставится в виде:

$$\Phi_u \xrightarrow{R} \min, \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^{k=K} R_k = R. \quad (13)$$

Она решена методом множителей Лагранжа. Функция Лагранжа записывается в виде:

$$L(\Phi_y) = 400 \cdot \sum_{k=1}^{k=K} h_k(7 - 25 \cdot h_k + 57 \cdot h_k^2) - \lambda \cdot (\sum_{k=1}^{k=K} R_k - R), \quad (14)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Условный экстремум выражения (14) находится из соотношений:

$$\frac{\partial L(\overline{R}, \overline{\lambda})}{\partial R_k} = \frac{\partial L(\overline{R}, \overline{\lambda})}{\partial \lambda} = 0; \quad k=1, 2, \dots, K. \quad (15)$$

Вычисляя из (15) производную $\frac{\partial L(\overline{R}, \overline{\lambda})}{\partial R_k} = 0$, получим приведенное уравнение четвертой степени относительно R_k и используем его для реализации метода Феррари для нахождения корней:

$$R_k^4 + p \cdot R_k^2 + q \cdot R_k + r = 0, \quad (16)$$

где $p = 28 \cdot 10^2 \cdot \frac{F_k}{\lambda}$; $q = -2 \cdot 10^4 \cdot \frac{F_k^2}{\lambda}$; $r = 684 \cdot 10^2 \cdot \frac{F_k^3}{\lambda}$.

На следующем этапе решается кубическое уравнение резольвенты:

$$z^3 - p \cdot z^2 - 4r \cdot z + 4pr - q^2 = 0 \quad (17)$$

Подставляя в уравнение (17) значения коэффициентов из (16) и учитывая $F_k \gg 2$, получим:

$$z^3 - \frac{28 \cdot 10^2 \cdot F_k}{\lambda} \cdot z^2 - \frac{2736 \cdot 10^2 \cdot F_k^3}{\lambda} \cdot z - \frac{3,661 \cdot 10^8 \cdot F_k^4}{\lambda^2} = 0 \quad (18)$$

Введем обозначения:

$$a = 1; \quad b = -\frac{28 \cdot 10^2 \cdot F_k}{\lambda}; \quad c = -\frac{2736 \cdot 10^2 \cdot F_k^3}{\lambda}; \quad d = -\frac{3,661 \cdot 10^8 \cdot F_k^4}{\lambda^2} \quad (19)$$

Представим уравнение (18) в каноническом виде:

$$x^3 + a_1 \cdot x + b_1 = 0, \quad (20)$$

где $z = x - \frac{b}{3} = x + \frac{28 \cdot 10^2 \cdot F_k}{3\lambda}$; $a_1 \simeq c - \frac{b^2}{3} = -3 \cdot \frac{10^5 \cdot F_k^2}{\lambda}$;

Итак, $a_1 \simeq -3 \cdot \frac{10^5 \cdot F_k^2}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{10}{\lambda}\right)$; $b_1 \simeq -\frac{9 \cdot 10^8 \cdot F_k^4}{\lambda^2}$.

Вычислим дискриминант кубического уравнения (20), используя известную формулу:

$$Q = \left(\frac{a_1}{3}\right)^3 + \left(\frac{b_1}{2}\right)^2 = \frac{10^{17} \cdot F_k^6}{\lambda^4} \cdot \left(2 \cdot F_k^2 - \frac{13}{\lambda^2}\right) \simeq 20 \cdot \frac{10^{16} \cdot F_k^8}{\lambda^4} \quad (21)$$

Из (21) следует, что дискриминант Q больше нуля, а уравнение (20) имеет при любом $\lambda \neq 0$ один вещественный и два комплексных сопряженных корня. Используя формулу Кардано, найдем вещественный корень:

$$z_0 \simeq 2 \cdot 10^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_k^4}{\lambda^2}} \quad (22)$$

После соответствующих подстановок и преобразований получим оптимальное распределение [8-10]:

$$R_{k(opt3)} = R \cdot \frac{F_k^{4/3}}{\sum_{k=1}^K F_k^{4/3}} \quad (23)$$

Учитывая связанность ресурсов различного вида с кадровым обеспечением противопожарной службы, далее построены соответствующие аналитические зависимости, присущие Вьетнаму. Приведем для примера эмпирическую зависимость количества пожарных автомобилей от количества пожарных-бойцов (23) (Рисунок 5).

Из Рисунка 5 следует, что зависимость количества пожарных автомобилей Fa_i от количества пожарных-бойцов R_i с высокой точностью (97 %) описывается следующим соотношением:

$$Fa_i = 449 \cdot \ln R_i - 3392, \quad (24)$$

где $i = 1, 2, \dots, I$; I – количество лет наблюдения (в нашем случае – 15 лет).

Рассмотрение исследованной зависимости в масштабах каждого из шести административных округов Вьетнама подтверждает выявленное логарифмическое соотношение между количеством пожарных автомобилей и количеством пожарных-бойцов.

Для решения практических задач территориального распределения пожарных автомобилей по округам Вьетнама и его провинциям в зависимости от количества пожарных-бойцов сведем все расчетные показатели в Таблицу 1.

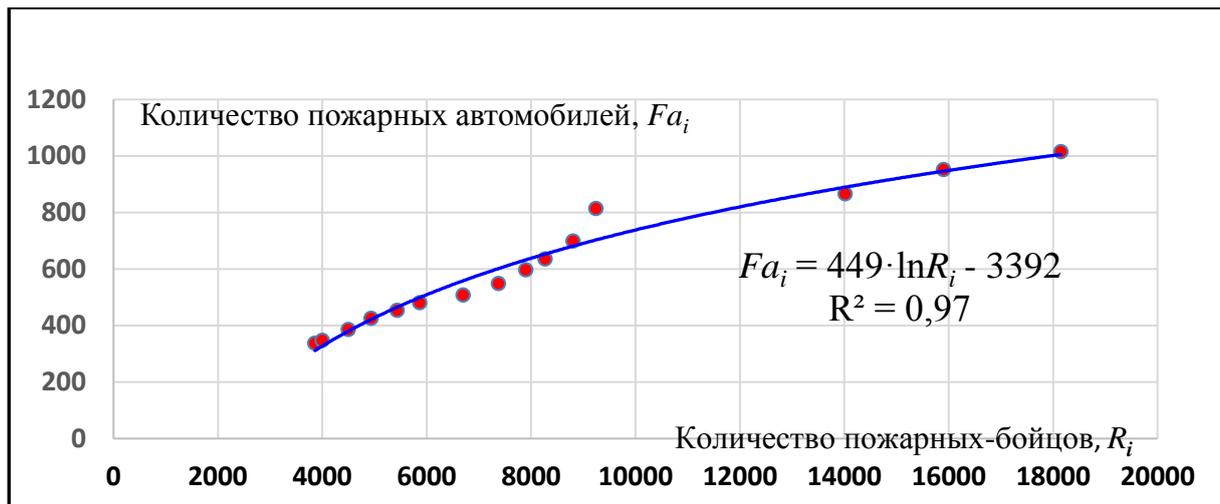


Рисунок 5 – Зависимость количества пожарных автомобилей от количества пожарных-бойцов во Вьетнаме (эмпирические данные обозначены кружками)
Figure 5 – Dependence of the fire trucks number on the firefighters number in Vietnam (empirical data are indicated by circles)

Заметим, что в Таблице 1 приведены расчетные параметры для административных округов Вьетнама, а не для выделенных кластеров, для которых, как показали расчеты, коэффициенты объясняемости еще выше в связи с большей однородностью группирующихся в них провинций Вьетнама.

При этом для случая административного деления коэффициенты объясняемости варьируются в диапазоне 91-98 %.

Используя параметры первой-шестой строк Таблицы 1, возможно осуществить оптимальное распределение пожарных автомобилей по провинциям Вьетнама.

Другие виды ресурсов, после детального исследования их взаимосвязи с кадровыми ресурсами, количеством пожарных автомобилей, имеет смысл распределять в соответствии с устоявшимися эмпирическими зависимостями, оправданными

многолетним опытом планирования ресурсов в противопожарной службе, либо в пропорциональном отношении.

Таблица 1 – Расчетные параметры зависимости количества пожарных автомобилей от количества пожарных-бойцов

Table 1 – Calculated parameters dependence of the fire trucks number on the firefighters number

Округ Вьетнама	Общая зависимость $F_a^k = \alpha \cdot \ln R_k - \beta$		Объясняемость
	α	β	$R^2 \cdot 100\%$
1. Дельта Хонгхи	108	642	94%
2. Северный Мидлендс и горные провинции	55	295	98%
3. Центральное побережье	97	588	99%
4. Центральное нагорье	29	143	97%
5. Юго-Восточный	78	446	91%
6. Дельта Меконга	63	362	94%
Вьетнам в целом	449	3392	97%

Так, зависимость общей стоимости материально-технических средств службы пожарной безопасности S_i в тыс. долларов от количества пожарных-бойцов R_i с достаточно высокой точностью (96%) во Вьетнаме описывается формулой:

$$S_i = 7066 \cdot \ln R_i - 56033, \quad (25)$$

где $i = 1, 2, \dots, I$; I – количество лет наблюдения (в нашем случае – 10 лет).

Заключение

В условиях стремительного роста экономики Вьетнама обострились пожарные риски и негативные факторы, сказывающиеся на пожарной безопасности страны. Это вызвало необходимость создания новых методов и моделей анализа, оценки, прогнозирования пожарных рисков и управления ими.

Построение критерия оптимального распределения кадровых ресурсов связано с исследованием зависимости комплексного аддитивного показателя, отражающего взвешенное количество погибших и травмированных на пожарах от нагрузки – количества пожаров, приходящихся на одного пожарного.

Целевую функцию противопожарной службы Центра необходимо строить, исходя из принципов создания математических моделей типа «затраты – результаты», представляющих собой сумму целевых функций этих служб в кластерах.

Для практических расчетов территориальных распределений кадровых ресурсов аналитическими службами противопожарной службы достаточно учитывать члены третьего порядка малости в разложении целевой функции в ряд Маклорена.

Другие виды ресурсов противопожарной службы, после детального исследования их взаимосвязи с кадровым обеспечением, имеет смысл распределять в соответствии с эмпирическими зависимостями, оправданными многолетним опытом планирования ресурсов в указанной службе.

Важным результатом для обоснования и разработки современного

инструментария управления ресурсами противопожарной службы Вьетнама является углубленный анализ специфики пожарных рисков в типологических кластерах.

Типологические кластеры отражают существенные различия пожарной обстановки в стране и необходимы для практической реализации принципов, научного базиса, моделей управления теории активных систем для оптимального распределения ресурсов противопожарной службы в территориально-динамических аспектах.

Примененные подходы современного управления позволили создать математические модели, дающие возможность:

- проводить целенаправленный структурно-динамический анализ территориальных особенностей пожарных рисков в кластерах Вьетнама и выявлять однородные группы территорий страны по пожарной опасности;

- осуществлять оценку динамики и прогнозирование основных характеристик пожарной обстановки во Вьетнаме и его кластерах с учетом влияния на нее ресурсной обеспеченности противопожарной службы;

- реализовывать методы оптимального управления кадровыми и материально-техническими ресурсами противопожарной службы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Брушлинский Н.Н., Есин В.М., Слуев В.И. и др. Пожарные риски. Выпуск 4. Управление пожарными рисками. Под ред. Н.Н. Брушлинского и Ю.Н. Шебеко. М.: ВНИИПО МЧС России; 2006. 148 с.
2. Минаев В.А., Топольский Н.Г., Дао Ань Туан. Типологизация территорий Вьетнама по характеристикам пожарной опасности. Пожары и ЧС. 2018;1:59–66.
3. Дао Ань Туан. Статистический анализ ситуации с пожарами во Вьетнаме. Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности». Воронеж: Воронежский государственный технический университет; 2017:39–42.
4. Enaleev A.K., Novikov D.A. Sustainable Control of Active Systems: Decentralization and Incentive Compatibility. IFAC-Papers Online. 2021;54(13):13–18.
5. Novikov D.A. Control, Activity, Personality. Advances in Systems Science and Applications. 2020;20(3):113–135.
6. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексия и управление: математические модели. 2-е изд. М.: ЛЕНАНД; 2022. 416 с.
7. Белов М.В., Новиков Д.А. Модели деятельности. М.: ЛЕНАНД; 2021. 216 с.
8. Минаев В.А., Топольский Н.Г., Кйеу Туан Ань. Критериальное управление территориальным распределением кадровых ресурсов противопожарной службы Вьетнама. Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2019;2:94–103.
9. Минаев В.А., Топольский Н.Г., Кйеу Туан Ань. Эффективность территориального распределения кадровых ресурсов противопожарной службы Вьетнама. Технологии техносферной безопасности. 2019;2(84):63–71.
10. Кйеу Туан Ань, Овсяник А.И. Концептуальные подходы управления ресурсами противопожарной службы Вьетнама. Материалы Международной научно-практической конференции «Теория и практика экономики гражданской защиты на страже безопасности жизнедеятельности современного общества». М.: Объединенная редакция; 2022:140–144.

REFERENCES

1. Brushlinskij N.N., Esin V.M., Sluev V.I. i dr. *Pozharnye riski*. Vypusk 4. Upravlenie pozharnymi riskami. Pod red. N.N. Brushlinskogo i YU.N. Shebeko. M.: VNIPO MCHS Rossii; 2006. 148 p. (In Russ.)
2. Minaev V.A., Topol'skij N.G., Dao An' Tuan. Tipologizaciya territorij V'etnama po karakteristikam pozharnoj opasnosti. *Pozhary i CHS = Fires and emergencies*. 2018; 1:59–66. (In Russ.)
3. Dao An' Tuan. Statisticheskij analiz situacii s pozharami vo V'etname. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti»*. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet; 2017:39–42. (In Russ.)
4. Enaleev A.K., Novikov D.A. Sustainable Control of Active Systems: Decentralization and Incentive Compatibility. *IFAC-Papers Online*. 2021;54(13):13–18.
5. Novikov D.A. Control, Activity, Personality. *Advances in Systems Science and Applications*. 2020;20(3):113–135.
6. Novikov D.A., CHkhartishvili A.G. *Refleksiya i upravlenie: matematicheskie modeli*. 2-e izd. M.: LENAND; 2022. 416 p. (In Russ.)
7. Belov M.V., Novikov D.A. *Modeli deyatel'nosti*. M.: LENAND; 2021. 216 p. (In Russ.)
8. Minaev V.A., Topol'skij N.G., Kjeu Tuan An'. Kriterial'noe upravlenie territorial'nym raspredeleniem kadrovyyh resursov protivopozharnoj sluzhby V'etnama. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Clozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie = Vestnik RosNOU: Complex systems: models, analysis, management series*. 2019;2:94–103. (In Russ.)
9. Minaev V.A., Topol'skij N.G., Kjeu Tuan An'. Effektivnost' territorial'nogo raspredeleniya kadrovyyh resursov protivopozharnoj sluzhby V'etnama. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti = Technology of technosphere safety*. 2019;2(84):63–71. (In Russ.)
10. Kjeu Tuan An', Ovsyanik A.I. Konceptual'nye podhody upravleniya resursami protivopozharnoj sluzhby V'etnama. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Teoriya i praktika ekonomiki grazhdanskoj zashchity na strazhe bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti sovremennogo obshchestva»*. M.: Ob"edinennaya redakciya; 2022:140–144. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Минаев Владимир Александрович

д-р техн. наук, профессор, профессор Московского университета МВД России им. В. Я. Кикотя, Москва, Российская Федерация.
e-mail: m1va@yandex.ru
ORCID ID: [0000-0002-5342-0864](https://orcid.org/0000-0002-5342-0864)

Vladimir A. Minaev

Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of Moscow University of the MIA of Russian Federation named after V. Ya. Kikot, Moscow, Russian Federation.

Овсяник Александр Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Российская Федерация.
e-mail: ovsyanik58@gmail.com

Alexander I. Ovsyanik, Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of the State Fire Service Academy of the Russia EMERCOM, Moscow, Russian Federation.

Кйеу Туан Ань, адъюнкт Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Российская Федерация.
e-mail: kieuk3@gmail.com

Kjeu Tuan Anh, Adjunct of the State Fire Service Academy of the Russia EMERCOM, Moscow, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 03.04.2022; одобрена после рецензирования 22.04.2022;
принята к публикации 28.04.2022.*

*The article was submitted 03.04.2022; approved after reviewing 22.04.2022;
accepted for publication 28.04.2022.*