



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 4, № 3, 2020

Редакционная коллегия:

главный редактор:

Полевода
Иван Иванович

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

Гончаренко
Игорь Андреевич

доктор физико-математических наук,
профессор

Платонов
Александр Сергеевич

кандидат физико-математических
наук, доцент

Редакционный совет:

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Альгин Владимир Борисович, доктор технических наук, профессор; Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Герасимчик Александр Петрович, кандидат психологических наук, доцент; Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленья Николай Васильевич, доктор военных наук, профессор; Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических наук, профессор; Кремень Марк Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Ласута Геннадий Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Порхачев Михаил Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия); Раимбеков Кендебай Жанабильевич, кандидат технических наук (Казахстан); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Чень Цзяньго, доктор технических наук, профессор (Китай); Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

Учредитель – Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

Решением коллегии Высшей аттестационной комиссии № 18/8 от 9 декабря 2016 г.
журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 1835 от 19 сентября 2016 г.

Номер подготовлен совместно с учреждениями образования и науки Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан и Институтом сейсмологии им. Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан.

Всю ответственность за подбор и точность приведенных данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов.

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

Полная или частичная перепечатка, размножение, воспроизведение или иное использование опубликованных материалов допускаются с обязательной ссылкой на журнал «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси».

Адрес редакции: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск

Контактные телефоны: (017) 340-53-93 (главный редактор)

(017) 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

E-mail редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)

ISSN 2708-017X (online)

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Татур М.М., Иваницкий А.Г., Проровский В.М. О прогнозировании обстановки с пожарами, относящимися к ЧС техногенного характера, в Республике Беларусь: подходы и проблемы 237

Лихоманов А.О., Камлюк А.Н., Грачулин А.В. Экспериментальное определение эффективности тушения пожара класса В пеной низкой кратности, генерируемой розеточными оросителями..... 251

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Опыт оценки текущей сейсмологической обстановки на территории Узбекистана по комплексу прогностических параметров сейсмического режима 265

Ибрагимов А.Х. Оценка эффективности системы раннего оповещения о сильных землетрясениях в условиях редкой сети сейсмических станций 280

Хамидов Х.Л., Ибрагимов А.Х., Хамидов Л.А. Современное состояние и результаты сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища 287

Маджидов И.У., Кулдошев А.Х., Ибрагимов Б.Т. Анализ факторов пожара при землетрясениях..... 297

Исмаилов В.А., Актамов Б.У., Аллаев Ш.Б. Методика оценки последствий сильного землетрясения для городских территорий..... 305

Ковтун В.А., Короткевич С.Г. Исследование влияния геометрических параметров элементов конструкции цистерны на ее прочностные характеристики при модернизации пожарных автомобилей..... 316

Стриганова М.Ю., Шаталов И.М., Самедов С.А., Щербакова М.К., Недашковская И.В., Рабченя В.С. Об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины 328

Гражданская оборона

Хроколов В.А., Субботин М.Н. Местная противовоздушная оборона: обеспечение безопасности населения в годы Великой Отечественной войны 338

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (психологические науки)

Исаев А.В. Надежность летного состава как фактор обеспечения безопасности полетов 346

Разное (обзоры)

Соколова А.А., Тихонов М.М., Абдуллаев А.А. Информационные технологии управления в условиях чрезвычайных ситуаций: концептуальные основы..... 353

Правила предоставления статей 360

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

Tatur M.M., Ivanitskiy A.G., Prorovskiy V.M. On forecasting fire situation related to technogenic emergencies in the Republic of Belarus: approaches and problems 237

Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Experimental determination of the Class B fire extinguishing efficiency using low-expansion foam generated by deflector type sprinklers 251

Safety in emergencies (technical sciences)

Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Experience of assessing the current seismological situation on the Uzbekistan territory by the complex of forecast parameters of seismic mode 265

Ibragimov A.Kh. Assessment of the effectiveness of the early warning system for severe earthquakes in a rare network of seismic stations 280

Khamidov Kh. L., Ibragimov A.Kh., Khamidov L.A. Current status and results of seismic monitoring on the dam and coastal slopes of the Charvak reservoir 287

Madzhidov I.U., Kuldashev A.H., Ibragimov B.T. Analysis of fire factors at earthquakes 297

Ismailov V.A., Aktamov B.U., Allaev Sh.B. Estimation of effects of strong earthquake for urban territories 305

Kovtun V.A., Korotkevich S.G. Research of the geometric parameters influence of tank constructional elements on its strength characteristics at modernization of fire-fighting trucks 316

Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Samedov S.A., Shcherbakova M.K., Nedashkovskaya I.V., Rabchenya V.S. On the integration of differential equations of unsteady gradually changing flow in an open channel in highland conditions when a dam breaks 328

Civil defense

Khrokolov V.A., Subbotin M.N. Local air defense: ensuring of population safety during the Great Patriotic War 338

Safety in emergencies (psychological sciences)

Isaev A.V. Reliability of flight personnel as a factor of ensuring flight safety 346

Miscellaneous (reviews)

Sokolova A.A., Tikhonov M.M., Abdullaev A.A. Information management technology in emergency situations: conceptual framework 353

Rules of submitting articles for publication 360

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.237>

УДК 614.841.31:311.4::004.942::004.62

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ, ОТНОСЯЩИМИСЯ К ЧС ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА, В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПОДХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ

Татур М.М., Иваницкий А.Г., Проровский В.М.

Цель. Определить состав основных факторов, влияющих на обстановку с пожарами в населенных пунктах, для прогнозирования их возникновения на территориях административно-территориальных единиц Республики Беларусь, оценить возможность использования результатов, полученных ранее другими исследователями.

Методы. Разведочный анализ, синтез, моделирование, системный подход, наблюдение, сравнение, измерение.

Результаты. Сформирована база основных исходных данных, проведен первоначальный разведочный анализ, проведена оценка возможности применения некоторых известных моделей прогноза.

Область применения исследований. Полученные результаты необходимы для решения задачи прогнозирования возникновения пожаров, вычисления величин пожарных рисков.

Ключевые слова: техногенная чрезвычайная ситуация, пожар, прогнозирование, разведочный анализ, многофакторная модель, статистика пожаров.

(Поступила в редакцию 1 июля 2020 г.)

Введение

Система мониторинга и прогнозирования в Республике Беларусь представляет собой совокупность систем наблюдения, анализа и оценки состояния и изменения выявленных и потенциальных источников чрезвычайных ситуаций (ЧС) и прогнозирования ЧС, влияющих на безопасность населения, организаций и окружающей среды, в целях разработки и реализации мер по предупреждению и ликвидации ЧС, минимизации их социально-экономических и экологических последствий. Система мониторинга и прогнозирования функционирует в рамках Государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС¹.

Управление любым объектом или процессом в деятельности аварийно-спасательных служб и надзорных органов предполагает постоянное принятие решений, касающихся выбора последующих действий управляющего субъекта относительно этого объекта или процесса. Постоянно нарастаемые массивы специализированной информации требуют непрерывного совершенствования методов прогнозирования для принятия управленческих решений. В 2018 г. в МЧС Беларуси внедрен программный комплекс учета и анализа ЧС, который обеспечил агрегацию уже накопленных статистических данных, автоматизацию сбора новых показателей и возможность получения аналитической информации [1].

Пожары, относящиеся к ЧС техногенного характера² (далее – техногенные пожары), наиболее часто возникают в городах и сельских населенных пунктах республики. Они составляют более 99 % от общего числа ЧС и наносят наибольший ущерб. По данным ве-

¹ Об утверждении Положения о системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 нояб. 2004 г., № 1466 [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2004-188/2004-188\(065-104\).pdf&oldDocPage=9](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2004-188/2004-188(065-104).pdf&oldDocPage=9). – Дата доступа: 01.06.2020.

² О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: постановление М-ва по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, 19 февр. 2003 г., № 17 // Законодательство Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://zakonrb.com/npa/o-klassifikacii-chrezvychaynyh-situaciy-prirodnogo>. – Дата доступа: 01.06.2020.

домственного учета МЧС, за 10 лет (2010–2019 гг.) в стране зарегистрировано 67,6 тыс. пожаров, вследствие которых погибло около 7,2 тыс. и травмировано более 3,8 тыс. человек [1].

Необходимость прогнозирования обстановки с пожарами возникает из потребности выработки управленческих решений, направленных на предупреждение их возникновения. Очевидно, что обстановка с пожарами динамична и имеет как антропогенную составляющую, так и природные (сезонные) факторы [2; 3].

Основная часть

Большая часть пожаров в населенных пунктах возникает на объектах жилого сектора: в жилых домах, дачах и надворных постройках. Их доля в общем числе составляет примерно 80 %, а гибель людей на них – 92–98 % (рис. 1).

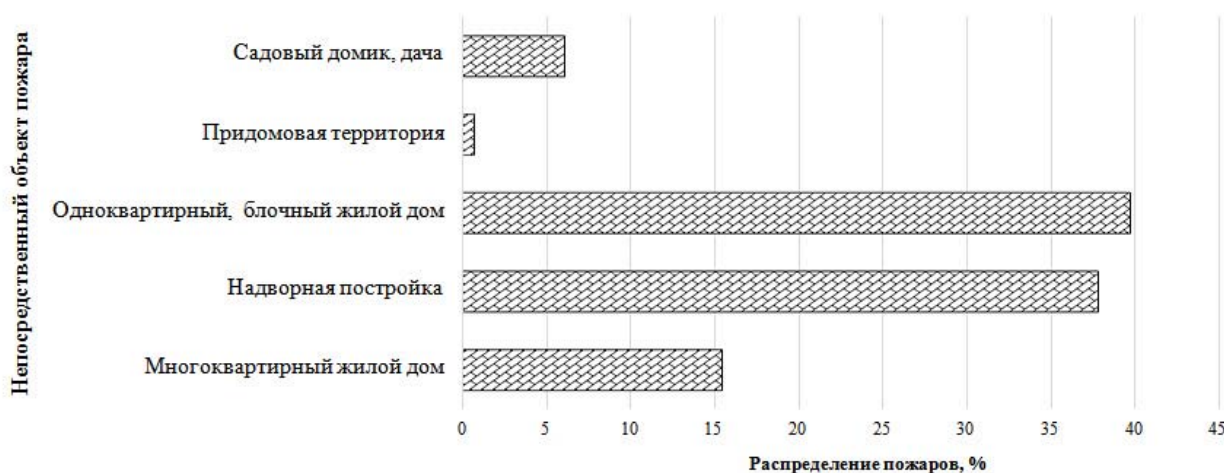


Рисунок 1. – Распределение пожаров по объектам жилого сектора (по данным [1])

Проведенный анализ статистических данных обстановки с пожарами на территории Беларуси за 2015–2019 гг. показал, что частота возникновения пожаров в течение года изменяется в зависимости от сезона и при этом имеет выраженные отличия для городских и сельских населенных пунктов (рис. 2). Например, в сельской местности наблюдаются пиковые показатели в марте-апреле и августе – из-за неосторожного обращения с огнем при сжигании сухой растительности, в октябре – в связи с началом отопительного сезона. Таким образом, определение возможного влияния температуры окружающей среды (динамики ее изменения) на обстановку с пожарами в Республике Беларусь является актуальной задачей.

В работах А.Н. Батуру [2] и М.В. Ходина³ отдельно рассматривается однофакторная зависимость количества пожаров в населенных пунктах от числа проживающих. Рассмотрим результаты их моделирования. Зависимость, построенная для населенных пунктов, выражена следующим уравнением [2]:

$$N = 2,6P + 116,6, \quad (1)$$

где N – количество пожаров за год; P – численность населения, тыс. чел.

Зависимость, построенная на основании численности жителей по 118 районам и 8 городам областного подчинения, имеет вид⁴:

$$N = 0,0121P + 347,13. \quad (2)$$

³ Ходин, М.В. Построение модели прогноза возникновения пожаров на территории Республики Беларусь на основании кратковременных климатических показателей: дис. ... магистра техн. наук: 1-94 80 01 / М.В. Ходин. – Минск: Ун-т гражд. защиты МЧС Беларуси, 2017. – 48 л.

⁴ Там же.

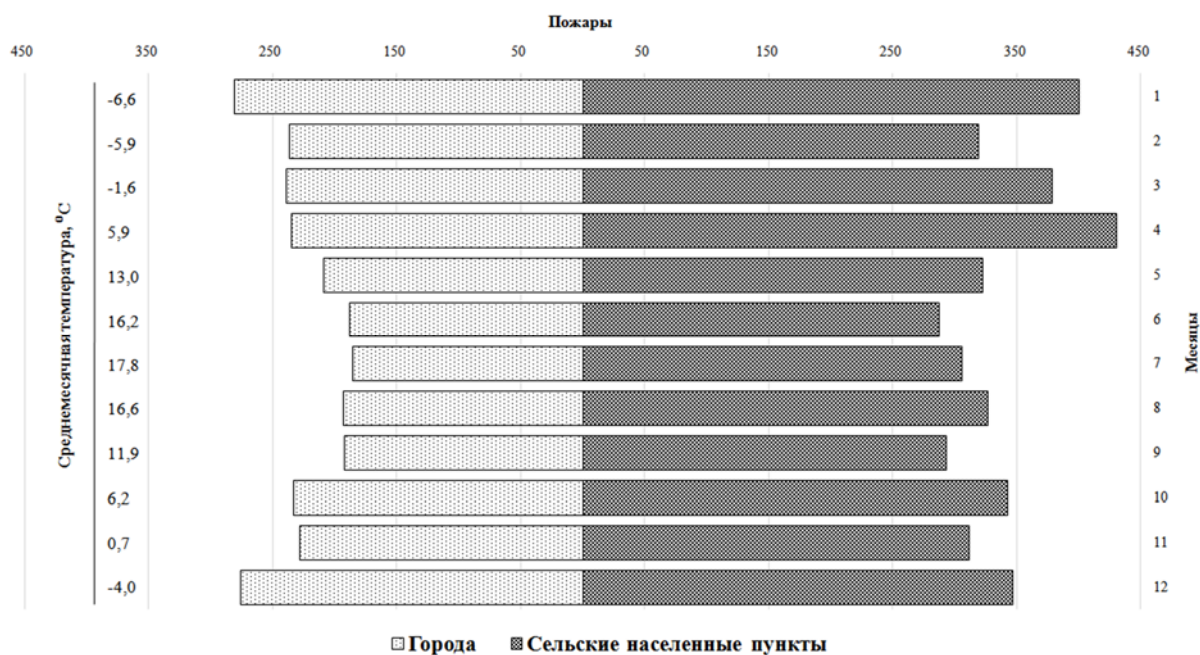


Рисунок 2. – Распределение пожаров по месяцам года и типу населенных пунктов (по данным [1])

Представить обстановку с пожарами в Республики Беларусь в виде однофакторной регрессионной модели (рис. 3) можно, приняв в качестве независимой переменной численность жителей по 200 наиболее населенным пунктам, в виде уравнения:

$$N = -0,6P^2 \cdot 10^{-4} + 0,29P + 1,68. \quad (3)$$

Значение коэффициента детерминации R^2 при этом составит 0,96, что в данном случае означает высокую степень зависимости переменной N .

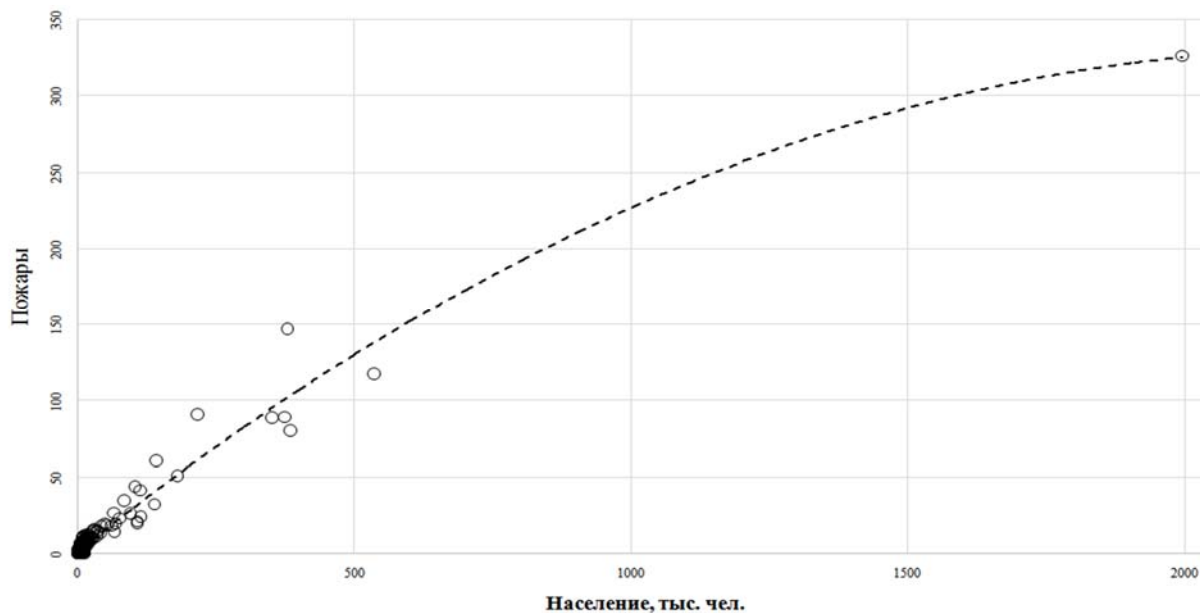


Рисунок 3. – Распределение пожаров в зависимости от числа жителей

Перечисленные функции показывают, что однофакторная модель может быть построена различными способами и сильно зависит от набора исходных данных.

Численность населения играет важную роль при прогнозировании, вместе с тем тот факт, что в республике 78,6 % населения проживает в городах, а число пожаров в них составляет 39,9 % (рис. 2), говорит о необходимости дополнительного исследования и, возможно, детализации этого показателя.

С учетом того что рассматриваемые пожары – явление, как правило, антропогенного происхождения, необходимо рассмотреть количество возникающих пожаров в зависимости от продолжительности пребывания людей на объекте, которая в первом приближении может быть выражена через тип дня (рабочий, нерабочий). Распределение общего количества пожаров по дням недели показало наличие выраженных пиковых значений в субботу и воскресенье (рис. 4). Анализ распределения частоты возникновения пожаров по рабочим и выходным дням (с учетом праздничных и перенесенных рабочих дней) выявил значительное расхождение величины этих показателей – 14,7 и 19,1 соответственно.

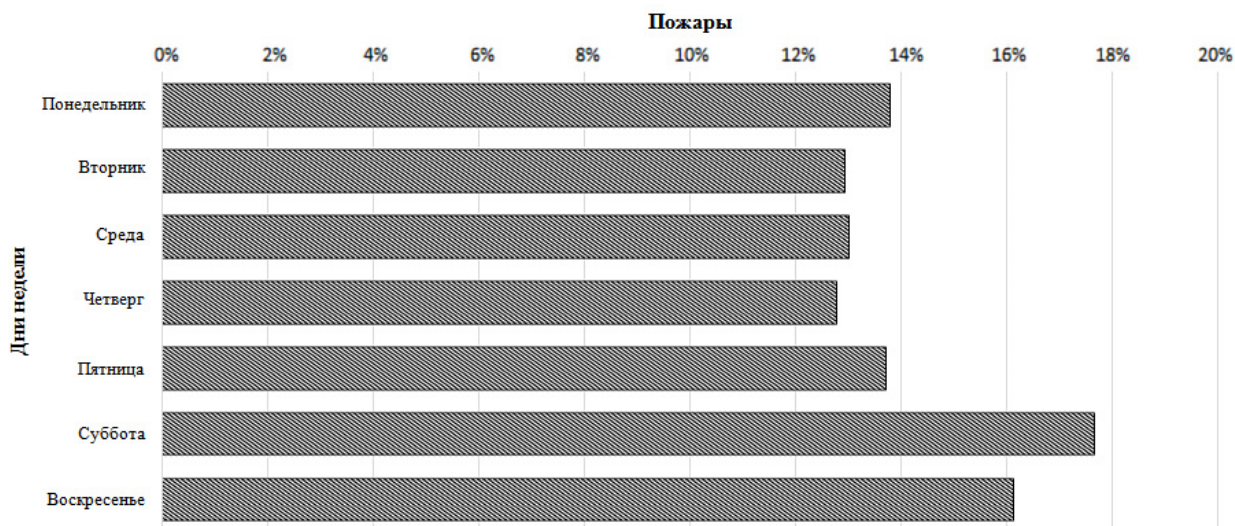


Рисунок 4. – Среднегодовое распределение пожаров по дням недели (по данным [1])

Проведенные ранее исследования показали, что существует зависимость параметров обстановки с пожарами от природно-климатических характеристик рассматриваемой территории⁵ [2–6]. Отдельно указано, что наибольшее влияние на обстановку с пожарами оказывает температура окружающей среды и ее изменение [4].

С учетом того что природно-климатические параметры территории Республики Беларусь существенно отличаются от климата территорий, рассматриваемых в работах [2; 3], проведение таких исследований для Республики Беларусь представляет научный и практический интерес.

В ряде работ⁶ [2; 4] при разработке моделей прогнозирования ожидаемого количества пожаров в качестве независимых переменных использовались значения среднесуточных температур воздуха. Кроме того, ряд исследователей [5; 6] использовали климатические и другие характеристики, включая температуру окружающего воздуха, для определения вероятности возникновения пожаров (пожарного риска). Обзор проведенных исследований о влиянии метеорологических факторов на обстановку с пожарами показал, что в данном направлении существует ряд публикаций, подтверждающих их связь.

Например, в [4] приводится зависимость, полученная в результате обработки данных за 2006–2012 гг. для всей территории Беларуси, при $R^2 = 0,91$:

$$N = 128,3T - 0,543. \quad (4)$$

В работах А.Н. Батуро [2] и М.В. Ходина⁷ анализ влияния температуры окружающей среды проводился на основании разделения причин всех пожаров на три основные группы:

⁵ См. сноску 3.

⁶ См. сноску 3.

⁷ Ходин, М.В. Построение модели прогноза возникновения пожаров на территории Республики Беларусь на основании кратковременных климатических показателей: дис. ... магистра техн. наук: 1-94 80 01 / М.В. Ходин. – Минск: Ун-т гражд. защиты МЧС Беларуси, 2017. – 48 л.

техногенные, социальные и прочие. Социальная группа включает такие причины, как неосторожное обращение с огнем, курение и детская шалость с огнем. Техногенная – неисправность и неправильная эксплуатация печей, недостатки конструкций, нарушение правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов. Прочие причины – нарушение технологических работ, поджоги и т. п. Согласно исследованию [2] количество пожаров техногенной группы при повышении температуры воздуха уменьшается, а количество пожаров по социальной группе причин, наоборот, увеличивается:

$$N_{\text{тех}} = -0,015T + 0,73, \quad (5)$$

$$N_{\text{соц}} = 0,013T + 1,77, \quad (6)$$

где $N_{\text{тех}}$ – частота пожаров по техногенным причинам, случаев на 100 тыс. человек в сутки; $N_{\text{соц}}$ – частота пожаров по социальным причинам, случаев на 100 тыс. человек в сутки; T – температура воздуха, °С.

Количество пожаров по прочим причинам с динамикой температуры практически не связано.

Аналогичные зависимости⁸ для всей территории Беларуси с населением численностью 9 468 154 человек, построенные по данным за период с 2002 по 2014 г., имеют вид:

$$N_{\text{тех}} = 125,26T^{-0,767}, \quad (7)$$

$$N_{\text{соц}} = 21,033T^{-0,138}. \quad (8)$$

Как и при представлении однофакторной модели числа пожаров от количества населения, в данном случае нет единого подхода, и в каждом конкретном случае выбирается свой вариант, со временем требующий корректировки.

Вместе с тем методик и детальных материалов, позволяющих использовать для территории Республики Беларусь готовые прогнозные модели обстановки с пожарами, в открытом доступе нет.

Приведенная информация позволяет сделать вывод о возможном существовании многофакторных зависимостей, когда значение результирующих показателей обусловлено влиянием сразу нескольких факторов. Если рассмотреть любой из показателей обстановки с пожарами (количество, гибель и травмирование людей, материальный ущерб и т. д.) и оценить, какие факторы оказывают на него влияние, то заметно различное воздействие множества причин и условий. Например, на число пожаров оказывают влияние погодные условия, день недели, тип населенного пункта, число жителей и т. д. На материальный ущерб влияет экономическая обстановка, удаленность объекта пожара от пожарных аварийно-спасательных подразделений, численность личного состава этих подразделений и другие факторы.

При построении однофакторной модели происходит большее упрощение моделируемого представления действительности – вместо влияния нескольких факторов на прогнозируемый показатель приходится выбирать один, наиболее значимый. Однофакторная модель в этой ситуации настолько примитивна и груба, что ее применение при прогнозе может давать очень приблизительные значения. Для повышения точности прогноза на базе математической модели необходимо подобрать такой вариант, который бы лучше всего отражал описание и суть происходящих процессов. Так как показатели обстановки с пожарами формируются под воздействием множества факторов, модель, прогнозирующая их, также должна учитывать это, т. е. быть многофакторной. От многофакторной прогнозной модели можно ожидать большей точности, чем от однофакторной, поскольку она вскрывает особенности и моделирует обстановку более детально [7].

⁸ См. сноску 3.

Одна из многофакторных моделей, устанавливающая закономерности возникновения пожаров от численности населения и температуры окружающей среды, отражена в исследовании [2]. В этой работе зависимость количества прогнозируемых пожаров выражена алгебраическим уравнением второго порядка с тремя переменными (численность населения x , температура окружающей среды y , количество пожаров z) следующего вида:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fzx + Gx + Hy + Kz + L = 0. \quad (9)$$

По данным о пожарах в Красноярском крае Российской Федерации для групп причин пожаров получены коэффициенты [2], приведенные в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициенты для определения прогнозируемого количества пожаров в зависимости от групп причин

Группа причин пожаров	Коэффициенты									
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
Социальные	$-2,07 \cdot 10^{-6}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	0	$-3,55 \cdot 10^{-5}$	0	0	-0,004	$-9,16 \cdot 10^{-5}$	1	-0,05
Техногенных	$4,31 \cdot 10^{-6}$	$-1,97 \cdot 10^{-4}$	0	$3,43 \cdot 10^{-5}$	0	0	-0,006	0,002	1	0,083
Прочие	0	0	0	0	0	0	-0,001	0	1	-0,005

Для оценки применимости указанной модели для прогнозирования возникновения пожаров в населенных пунктах республики проведен анализ расположения станций метеорологического наблюдения и собираемых данных. Информация о наблюдениях имеется в открытом доступе⁹. На текущий момент на указанном ресурсе публикуются данные по 354 станциям, 54 из которых расположены в Беларуси (рис. 5)¹⁰. Информация, как правило, публикуется с шагом в 3 часа, с 00:00 каждых суток. Перечень размещаемых данных содержит: дату, время, индекс станции по списку Всемирной метеорологической организации, код страны, населенный пункт, температуру наружного воздуха, направление и силу ветра, облачность, дальность видимости, влажность и давление. На момент подготовки публикации размещены данные за период с 1 августа 2017 г.

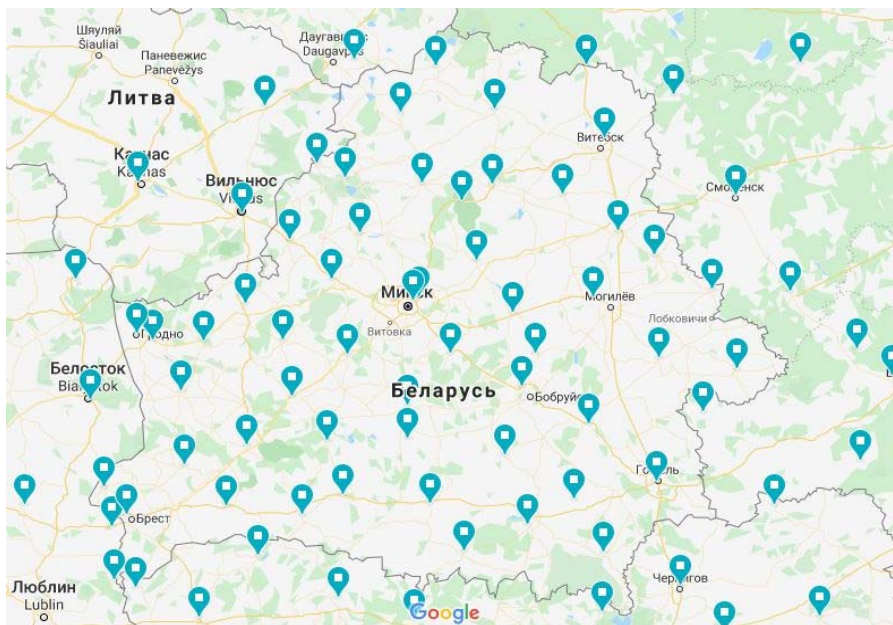


Рисунок 5. – Расположение метеорологических станций

⁹ Фактическая погода за последний срок наблюдения [Электронный ресурс] / Белгидромет. – Режим доступа: <http://www.pogoda.by/meteoarchive/>. – Дата доступа: 01.06.2020.

¹⁰ Сервис Карты Google [Электронный ресурс] / Google. – Режим доступа: https://www.google.by/maps/@53.3924132,25.2482264,6z/data=!3m1!4b1!4m3!1!m2!2sP2hr2IS_nkrgSeTWqCGaeaHksZx9jgl3e3?hl=ru. – Дата доступа: 01.06.2020.

С использованием возможности языка программирования Python и библиотек Requests, BeautifulSoup, Pandas, Openpyxl, информация собрана в локальную СУБД Sqlite, что позволило автоматизировать процесс обработки результатов метеорологических наблюдений.

Анализ распределения дней в году по среднесуточным температурам наружного воздуха на станциях наблюдения показал, что 84,7 % всех дней приходится на температурный диапазон от -1 до $+20$ °C (рис. 6).

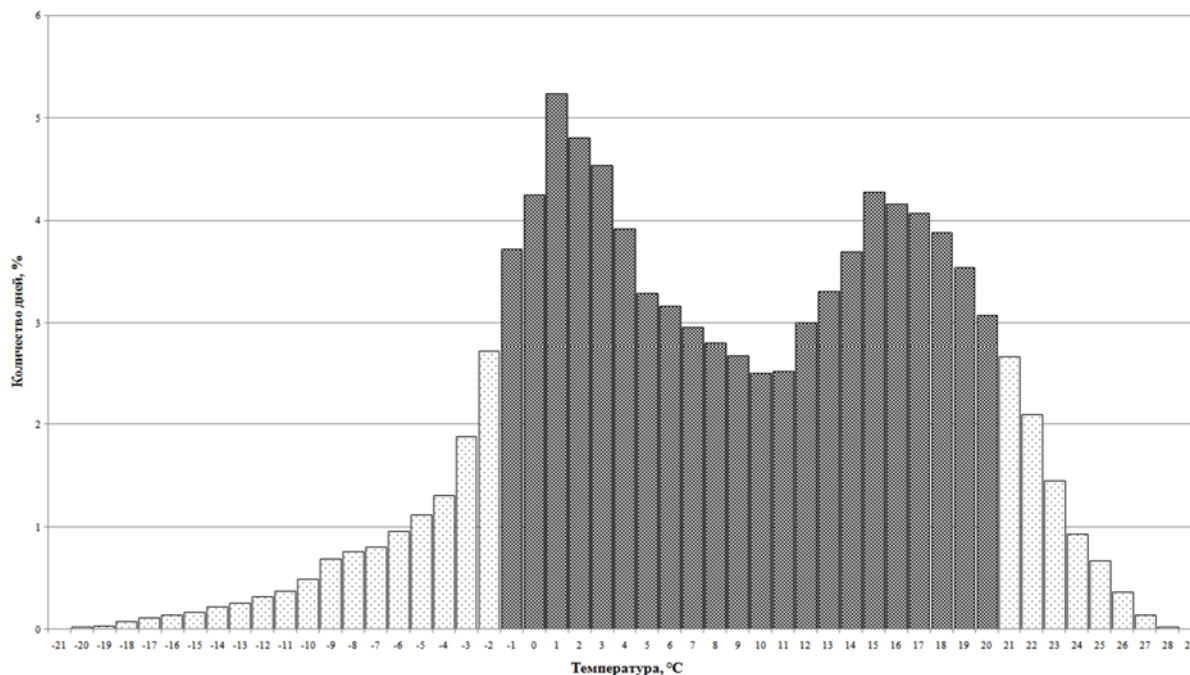


Рисунок 6. – Распределение количества дней в году по значениям средних температур наружного воздуха

Вместе с тем среднесуточная температура наружного воздуха может значительно отличаться от дневной и ночной, что с учетом особенностей режима пребывания людей на объектах различного функционального назначения может потребовать дополнительного исследования влияющих на обстановку факторов.

Для определения применимости модели [2] выполнен расчет прогнозируемого ежесуточного возникновения пожаров для 42 населенных пунктов, в которых расположены метеостанции, обеспечивающие регулярные измерения температур, что обеспечило возможность прямого использования имеющихся результатов измерений. В качестве исходных данных использованы количество населения¹¹ и ежедневная среднесуточная температура за 2019 г.¹²

По результатам расчета установлено, что для 29 населенных пунктов с населением от 1,1 до 84,1 тыс. жителей использование модели и коэффициентов [2] для фактически зарегистрированных среднесуточных температур привело к прогнозируемому нулевому количеству пожаров (рис. 7)¹³. Вместе с тем в этих населенных пунктах регистрировалось до 177 пожаров в год.

Сравнение прогноза с зарегистрированным количеством пожаров по остальным 13 населенным пунктам показало значительные расхождения с реальными данными.

¹¹ Половозрастная структура среднегодовой численности населения по Республике Беларусь за 2019 год [Электронный ресурс] / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 92 с. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/e0b/e0bfb73bd525d9aeec938444d99cd346.pdf>. – Дата доступа: 01.06.2010.

¹² См. сноску 2.

¹³ См. сноску 11.

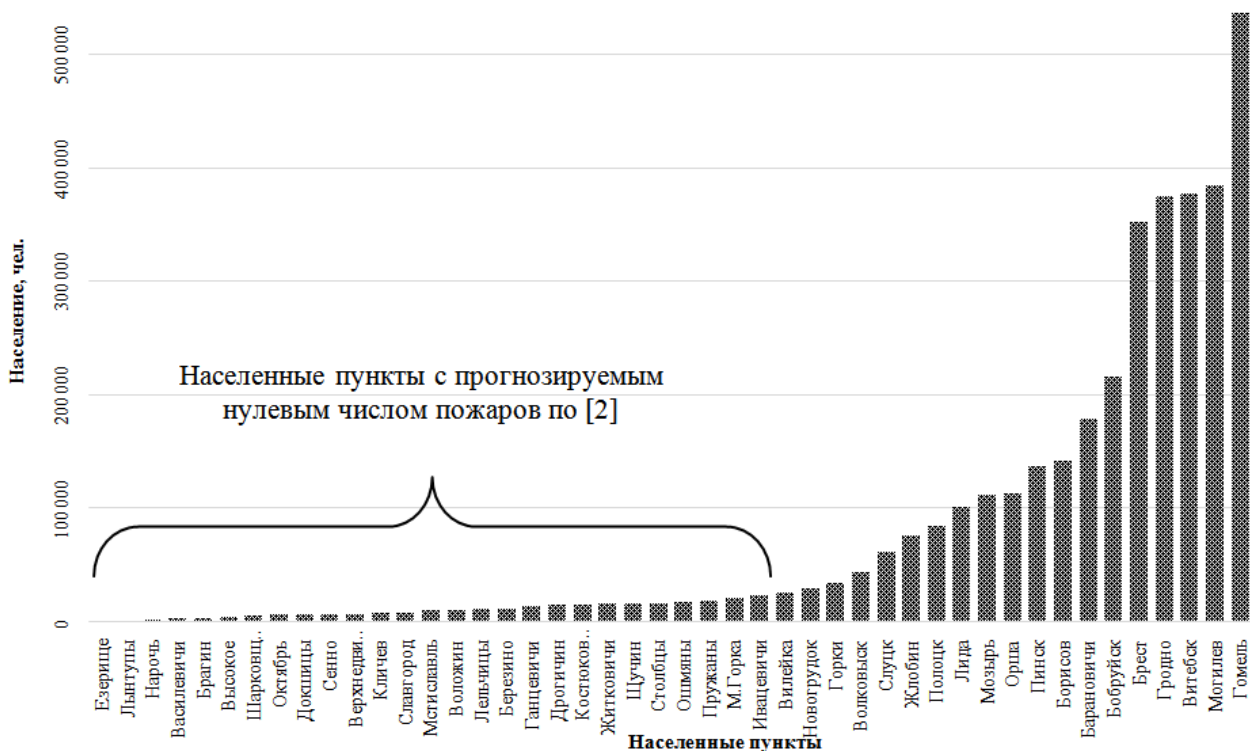


Рисунок 7. – Распределение населенных пунктов в местах расположения метеостанций в зависимости от числа жителей (без учета Минска)

Для изучения применимости модели на более широком диапазоне температур¹⁴ были проведены дополнительные расчеты по модели [2], деталиные результаты которых представлены в таблицах 2–5.

Таблица 2. – Прогнозируемое количество пожаров по социальным причинам

Населенный пункт	Население, тыс. чел.	Температура, °С														
		-40	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	40
Езерище	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...																
Полоцк	84,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Лида	102,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Мозырь	112,4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Орша	113,8	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Пинск	137,9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Борисов	142,4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Барановичи	178,9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Бобруйск	216,7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Брест	352,3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Гродно	374,6	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Витебск	378,2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Могилев	384,5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Гомель	536,6	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Минск	1996,3	13	14	14	15	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18	19

Примечание. В данной таблице и далее пустая строка означает пропущенные населенные пункты, для которых все прогнозные показатели равны нулю.

¹⁴ Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительная климатология: СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 08.12.00. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2001. – 37 с.

Таблица 3. – Прогнозируемое количество пожаров по техногенным причинам

Населенный пункт	Население, тыс. чел.	Температура, °С															
		-40	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	40	
Езерище	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ивацевичи	23,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Вилейка	26,6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Новогрудок	29,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Горки	34,3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Волковыск	43,8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Слуцк	61,4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Жлобин	76,3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Полоцк	84,1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Лида	102,0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
Мозырь	112,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	
Орша	113,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
Пинск	137,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Борисов	142,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Барановичи	178,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Бобруйск	216,7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Брест	352,3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
Гродно	374,6	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
Витебск	378,2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
Могилев	384,5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
Гомель	536,6	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	
Минск	1996,3	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-8	

Таблица 4. – Прогнозируемое количество пожаров по прочим причинам

Населенный пункт	Население, тыс. чел.	Температура, °С															
		-40	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	40	
Езерище	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Могилев	384,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Гомель	536,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Минск	1996,3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Таблица 5. – Прогнозируемое общее количество пожаров

Населенный пункт	Население, тыс. чел.	Температура, °С															
		-40	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	40	
Езерище	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ивацевичи	23,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Вилейка	26,6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Новогрудок	29,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Горки	34,3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Волковыск	43,8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Слуцк	61,4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Жлобин	76,3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Полоцк	84,1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Лида	102,0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	
Мозырь	112,4	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	
Орша	113,8	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	
Пинск	137,9	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Борисов	142,4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Барановичи	178,9	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Бобруйск	216,7	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Брест	352,3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	
Гродно	374,6	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
Витебск	378,2	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
Могилев	384,5	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
Гомель	536,6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	
Минск	1996,3	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	

Проведенный расчет по модели [2] показал слабое влияние температуры внешней среды на прогнозируемый показатель, выразившееся в следующем:

- для населенных пунктов с числом жителей менее 26 тыс. человек прогнозируемое количество пожаров всегда будет составлять 0;
- для крупных городов (Минск) постоянно будет прогнозироваться завышенное количество пожаров. При прогнозировании пожаров по техногенным причинам возникают аномальные отрицательные значения;
- для остальных населенных пунктов прогнозируемые значения составляют практически постоянную величину с изменениями в ± 1 пожар.

Перечисленные особенности, полученные в результате приведенных расчетов, могут возникать по ряду объективных причин, таких как:

- значения показателей обстановки с пожарами распределяются неравномерно даже при сходных технико-экономических и социально-демографических условиях и зависят от климатических районов [4];
- различные подходы к сбору и агрегированию сведений о пожарах и, как следствие, использование различных исходных данных в разных государствах¹⁵. Например, с 2009 г. на законодательном уровне в Российской Федерации велся отдельный учет загораний и пожаров, который был отменен с 2019 г.¹⁶

Отсутствие детализированной информации по алгоритму построения модели и подбору коэффициентов в работе [2] не позволяет провести ее корректировку на основании исходных данных по Республике Беларусь. Таким образом, указанная модель с конкретными коэффициентами не может быть использована для прогнозирования возникновения пожаров на территории Беларуси.

Принимая во внимание, что взаимное влияние приведенных в настоящей статье и других литературных источниках [8] параметров, определяющих обстановку с пожарами в Республике Беларусь, пока изучено слабо, для разработки многофакторной модели в дальнейшем может потребоваться дополнительное исследование метеорологических, экономических и других показателей. Наличие возможного большого количества переменных требует использования вычислительных мощностей компьютерной техники с задействованием современных программных библиотек, реализующих методы интеллектуального анализа данных при построении многофакторной прогнозной модели [9].

Заключение

В результате проведенной работы установлено, что основными факторами, влияющими на обстановку с техногенными пожарами, являются: количество жителей и вид населенного пункта, климатическая зона, в которой находится населенный пункт, температура воздуха окружающей среды, характеристики дня календарной недели. При изучении дополнительных показателей, влияющих на обстановку с пожарами на территории Беларуси, установлены однофакторные зависимости и особенности, с использованием которых возможно построение многофакторной модели.

Возникновение пожаров в населенных пунктах целесообразно рассматривать не только с точки зрения количества проживающих, но и с учетом других факторов (вида населенных пунктов, типа жилых строений и др.). Распределение причин пожаров в частных одно- и двухквартирных домах и в многоквартирных зданиях значительно различается [10].

¹⁵ Об учете пожаров и последствий от них в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: приказ М-ва по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, 19 сент. 2019 г., № 282. – Минск: МЧС Респ. Беларусь, 2019. – 70 с.

¹⁶ Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий: приказ М-ва Рос. Федерации по делам гражд. обороны, чрезвычайн. ситуациям и ликвидации последствий стихийн. бедствий (МЧС России), 21 нояб. 2008 г., № 714 [Электронный ресурс] / МЧС России. – М., 2020. – Режим доступа: https://static.mchs.ru/upload/site1/document_file/ex21fegk2p_d1.rtf. – Дата доступа: 01.06.2020.

При разработке прогнозной модели кроме значений независимых переменных должны учитываться их метаданные, которые описывают условия их сбора и обработки. В данном случае такими метаданными являются нормативные документы по организации сбора и агрегирования сведений о пожарах и их последствиях. В связи с наличием явных зависимостей при распределении возникших пожаров по дням недели этот показатель может быть рассмотрен в качестве независимой переменной многофакторной модели.

Использование модели [2], учитывающей среднесуточную температуру воздуха и количество населения, для населенных пунктов Беларуси дает прогнозные показатели, на порядок отличающиеся от фактической обстановки. В процессе моделирования возможно получение отрицательных значений прогнозируемого числа пожаров по техногенной группе причин для населенных пунктов с большим числом жителей.

При построении многофакторной прогнозной модели необходимо использовать современные программные библиотеки, реализующие методы интеллектуального анализа данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработать программный комплекс сбора и анализа информации о чрезвычайных ситуациях и их последствиях: отчет о НИР (заключ.) / Науч.-исслед. ин-т пожар. безопасности и проблем чрезвычайн. ситуаций МЧС Респ. Беларусь; В.М. Проровский [и др.]. – Минск, 2017. – 54 с. – № ГР 20163551. – Деп. в БелИСА 04.07.2018, № Д201828.
2. Батуро, А.Н. Управление регламентом противопожарных мероприятий в регионе на основе прогнозирования количества пожаров с учетом климатических факторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / А.Н. Батуро – СПб., 2014. – 119 л.
3. Фирсов, А.Г. Влияние природно-климатических факторов на формирование обстановки с пожарами в Российской Федерации / А.Г. Фирсов [и др.] // Пожар. безопасность. – 2018. – № 3. – С. 154–161.
4. Новиков, Г.Ф. Проведение пожарно-профилактической работы в жилом секторе в зависимости от сезонов года / Г.Ф. Новиков [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2 (34). – С. 52–56.
5. Lehna, C. Development of a Fire Risk Model to Identify Areas of Increased Potential for Fire Occurrences / C. Lehna [et al.] // Journal of Burn Care & Research. – 2016. – Vol. 37, Iss. 1. – P. 12–19. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000297.
6. An NFIRS Analysis: Investigating City Characteristics and Residential Fire Rates // Homeland Security Digital Library [Electronic resource]. – FEMA, USFA, Nat. Fire Data Center, April 1998. – Mode of access: <https://www.hsdl.org/?view&did=10004>. – Date of access: 01.06.2020.
7. Светуныков, И.С. Методы социально-экономического прогнозирования: в 2 т. / И.С. Светуныков, С.Г. Светуныков. – М.: Юрайт, 2014. – Т. 1: Теория и методология прогнозирования. – 351 с.
8. Проровский, В.М. Влияние социально-экономических факторов в Республике Беларусь на обстановку с пожарами и гибелью людей от них / В.М. Проровский, А.Н. Яцукевич // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 2 (30). – С. 66–67.
9. Татур, М.М. Перспективы применения технологий Data Mining и Knowledge Discovery в деятельности МЧС Республики Беларусь / М.М. Татур, В.М. Проровский // Материалы XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Москва, 5 июля 2017 г.: в 2 ч. / М-во Рос. Федерации по делам гражд. обороны, чрезвычайн. ситуациям и ликвидации последствий стихийн. бедствий; редкол.: Е.Ю. Сушкина (отв. ред.) [и др.]. – М.: ВНИИПО, 2017. – Ч. 2. – С. 741–744.
10. Иванов, Ю.С. Исследование влияния среднесуточной температуры внешней среды на обстановку с пожарами в разрезе причин на основании данных за 2006–2012 гг. / Ю.С. Иванов [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1 (33). – С. 23–26.

О прогнозировании обстановки с пожарами, относящимися к ЧС техногенного характера, в Республике Беларусь: подходы и проблемы
On forecasting fire situation related to technogenic emergencies in the Republic of Belarus: approaches and problems

Татур Михаил Михайлович

доктор технических наук, профессор
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, кафедра электронных вычислительных машин, профессор

Адрес: ул. П. Бровки, 6,
220013, г. Минск, Беларусь
e-mail: tatur@bsuir.by

Mikhail M. Tatur

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Chair of Electronic Computing Machines, Professor

Address: ul. P. Brovki, 6,
220013, Minsk, Belarus
e-mail: tatur@bsuir.by

Иваницкий Александр Григорьевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра пожарной безопасности, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: A.Ivanitski@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1219-962X

Aleksandr G. Ivanitskiy

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Fire Safety, Senior Lecturer

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: A.Ivanitski@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1219-962X

Проровский Вячеслав Михайлович

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, отдел статистики и анализа, начальник отдела

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь
e-mail: osoi@tut.by
ORCID: 0000-0002-6819-1611

Vyacheslav M. Prorovskiy

Institution «Scientific and Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Department of Statistics and Analysis, Head of Department

Address: ul. Soltysa, 183a ,
220046, Minsk, Belarus
e-mail: osoi@tut.by
ORCID: 0000-0002-6819-1611

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.237>

ON FORECASTING FIRE SITUATION RELATED TO TECHNOGENIC EMERGENCIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS: APPROACHES AND PROBLEMS

Tatur M.M., Ivanitskiy A.G., Prorovskiy V.M.

Purpose. To determine the structure of the main factors affecting the situation with fires in settlements, to forecast their occurrence in the territories of the administrative-territorial units of the Republic of Belarus, to assess the possibility of using the results obtained earlier by other researchers.

Methods. Exploration analysis, synthesis, modeling, systems approach, monitoring, matching, measurement.

Findings. A base of basic input data has been assembled, an initial exploration analysis has been carried out, and the applicability of some published forecast models has been evaluated.

Application field of research. The obtained results are necessary to solve the problem of forecasting the occurrence of fires and calculating the values of fire risks.

Keywords: technogenic emergency situation, fire, forecast, exploration analysis, multifactor model, fire statistic.

(The date of submitting: July 1, 2020)

REFERENCES

1. Prorovskiy V.M. [et al]. *Razrabotat' programmnyy kompleks sbora i analiza informatsii o chrezvychaynykh situatsiyakh i ikh posledstviyakh* [To develop a software package for collecting and analyzing information about emergency situations and their consequences]: report (final). Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus. Minsk, 2017. 54 p. State registration No. 20163551. Deposited in BellISA 04.07.2018, D201828. (rus)
2. Batur A.N. *Upravlenie reglamentom protivopozharnykh meropriyatiy v regione na osnove prognozirovaniya kolichestva pozharov s uchetom klimaticheskikh faktorov* [Management of regulation of fire prevention measures in the region based on forecasting the number of fires taking into account climatic factors]. PhD tech. sci. diss.: 05.13.10. St. Petersburg, 2014. 119 p. (rus)
3. Firsov A.G., Poroshin A.A., Arslanov A.M., Malemina E.N., Zagumennova A.V. *Vliyanie prirodno-klimaticheskikh faktorov na formirovanie obstanovki s pozharami v Rossiyskoy Federatsii* [Influence of climatic factors on forming of situation with the fires in the Russian Federation]. *Fire Safety*, 2018. No. 3. Pp. 154–161. (rus)
4. Novikov G.F., Ivanov Yu.S., Prorovskiy V.M., Khodin M.V., Sebrovskiy A.S. *Provedenie pozharnoprofilakticheskoy raboty v zhilom sektore v zavisimosti ot sezonov goda* [Implementation of fire-prevention work in the residential sector, depending on the seasons]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2013. No. 2 (34). Pp. 52–56. (rus)
5. Lehna C., Speller A., Hanchette C., Fahey E., Coty M.-B. Development of a fire risk model to identify areas of increased potential for fire occurrences. *Journal of Burn Care & Research*, 2016. Vol. 37, iss. 1. Pp. 12–19. DOI: 10.1097/BCR. 0000000000000297.
6. *An NFIRS Analysis: Investigating City Characteristics and Residential Fire Rates*. FEMA, USFA, Nat. Fire Data Center, April 1998, available at: <https://www.hsd.org/?view&did=10004> (accessed: June 1, 2020).
7. Svetun'kov I.S., Svetun'kov S.G. *Metody sotsial'no-ekonomicheskogo prognozirovaniya* [Methods of socio-economic forecasting]: in 2 parts. Moscow: Yurayt, 2014. Part 1. 351 p. (rus)
8. Prorovskiy V.M., Yatsukevich A.N. *Vliyanie sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov v Respublike Belarus' na obstanovku s pozharami i gibel'yu lyudey ot nikh* [The influence of socio-economic factors in the Republic of Belarus on the situation with fires and loss of life from them]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2011. No. 2 (30). Pp. 66–67. (rus)
9. Tatur M.M., Prorovskiy V.M. *Perspektivy primeneniya tekhnologiy Data Mining i Knowledge Discovery v deyatelnosti MChS Respubliki Belarus'* [Prospects for the application of Data Mining and Knowledge Discovery technologies in the activities of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus]. *Proc. XXIX Intern. scientific-practical conf., dedicated to the 80th anniversary of FSBE VNIPO MES of Russia, Moscow, 5 July 2017*: in 2 parts. Ed. by E.U. Sushkina [et al.]. Moscow: VNIPO, 2017. Part 2. Pp. 741–744. (rus)

10. Ivanov Yu.S., Prorovskiy V.M., Kucheyko S.M., Khodin M.V. Issledovanie vliyaniya srednesutochnoy temperatury vneshney sredy na obstanovku s pozharami v razreze prichin na osnovanii dannykh za 2006–2012 gg. [The investigation of daily average temperature influence of the environment on the situation with fires in the context of the causes based on data for 2006 until 2012]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2013. No. 1 (33). Pp. 23–26. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.251>

УДК 614.895.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА КЛАССА В ПЕНОЙ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ РОЗЕТОЧНЫМИ ОРОСИТЕЛЯМИ

Лихоманов А.О., Камлюк А.Н., Грачулин А.В.

Цель. Установить взаимосвязь между кратностью и устойчивостью воздушно-механической пены (пены) низкой кратности, генерируемой в розеточных оросителях для автоматических установок пожаротушения, а также разработать методику и провести натурные испытания пенных и водопенных оросителей, на основании результатов которых выполнить сравнительную оценку эффективности тушения пеной, генерируемой каждым из них.

Методы. Метод регрессионного анализа применен для установления формы зависимости устойчивости пены от ее кратности. Оценка эффективности тушения пеной, генерируемой оросителями, выполнялась экспериментальным путем, а обработка полученных экспериментальных данных выполнялась с использованием метода оценивания и выражения неопределенности измерений.

Результаты. Установлена линейная взаимосвязь между кратностью K и устойчивостью C воздушно-механической пены низкой кратности, которая имеет общий вид: $C = \gamma K$, где γ – эмпирический коэффициент, зависящий от физико-химических свойств пенообразователя. Получена эмпирическая зависимость $C = f(K)$ для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %). Разработана методика и проведены натурные испытания четырех розеточных оросителей: оросителя V2 с оптимальной по кратности пены геометрией, ТУ 3251 (США), ДПУ-15 (Россия) и ДВН-11 (Беларусь). Для сравнения эффективности тушения пеной, генерируемой оросителями, применен показатель эффективности тушения E_t , учитывающий время тушения модельного очага пожара и расход огнетушащего вещества. В результате натурных испытаний установлено, что пена, генерируемая оросителем V2, обладает не менее чем в 2,5 раза большей огнетушащей эффективностью по сравнению с остальными испытанными оросителями.

Область применения исследований. Установленная эмпирическая зависимость $C = \gamma K$ может быть использована для прогнозирования устойчивости пены на основе значения ее кратности и наоборот. Разработанные методики натурных испытаний и оценки эффективности тушения пеной, генерируемой пенными и водопенными розеточными оросителями, могут быть применены при разработке отечественных ТНПА в данной области, а также для исследования иных оросителей в условиях, приближенных к реальному пожару.

Ключевые слова: кратность пены, устойчивость пены, дисперсность пены, эффективность тушения, время тушения, расход огнетушащего вещества, автоматическая установка пожаротушения, ороситель, натурные испытания.

(Поступила в редакцию 25 июня 2020 г.)

Введение

Эффективность тушения пожара пеной, генерируемой пенными и водопенными розеточными оросителями автоматических установок пожаротушения (АУП), напрямую связана с такими ее качественными характеристиками, как кратность и устойчивость [1]. Под устойчивостью пены C понимается ее способность сохранять свои исходные свойства. После того как пена была сгенерирована, на нее воздействует ряд разрушающих физико-химических процессов. Нормативно закреплен метод определения устойчивости пены, который заключается в определении времени разрушения половины ее объема либо времени выделения из

нее 50 % жидкости¹. Под кратностью пены K понимается величина, равная отношению объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в ней [2]. Иными словами, кратность указывает на количество газовой фазы в пене, соответственно, чем больше кратность, тем больше в ней газа и тем она легче. Различают пены низкой (от 3 до 20), средней (20–200) и высокой (более 200) кратности [2].

Повышение эффективности тушения пеной, генерируемой пенными и водопенными розеточными оросителями, является весьма актуальной задачей по причине активного роста числа объектов, которые необходимо защищать пенными АУП. Повышение эффективности тушения пожара заключается в сокращении времени тушения и расхода огнетушащего вещества (ОТВ). Рациональным решением поставленной задачи является повышение качественных характеристик генерируемой оросителями пены.

Основная часть

Зависимость кратности и устойчивости пены друг от друга. В работе [3] обнаружено, что зависимости кратности и устойчивости пены, генерируемой из рабочего раствора пенообразователя ПО-6РЗ (6 %), от геометрических параметров дужек и розетки оросителя имеют схожий вид и пропорциональны друг другу в силу одинаковых условий пеногенерирования. Сопоставив полученные экспериментальные значения кратности пены и соответствующие им значения устойчивости, получили график зависимости данных качественных характеристик друг от друга (рис. 1).

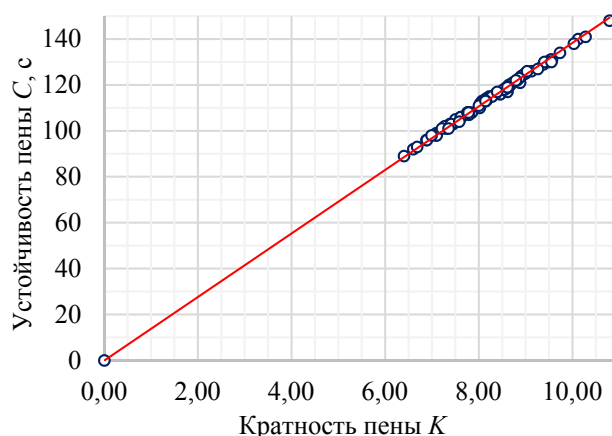


Рисунок 1. – Зависимость устойчивости пены от ее кратности

Из рисунка 1 видно, что зависимость C от K имеет линейный вид, при этом формуле линии тренда (прямая линия) соответствует коэффициент детерминации $R^2 = 0,99$, что свидетельствует о высокой степени соответствия экспериментальным значениям. В связи с этим зависимость C от K для пены низкой кратности (т. е. при $K < 20$) можно выразить следующим образом:

$$C = \gamma K, \quad (1)$$

где γ – эмпирический коэффициент, зависящий от физико-химических свойств пенообразователя, с.

Для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %) при условии, что устойчивость пены определяется как время выделения из нее 25 % жидкой фазы (раствора пенообразователя), выражение (1) принимает вид:

¹ Государственный стандарт Республики Беларусь. Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Введ. 12.07.16. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2016. – 18 с.

$$C = 13,84K. \quad (2)$$

Выражение (1) может использоваться и для других пенообразователей при наличии экспериментальных данных для определения соответствующего коэффициента γ .

Таким образом, по причине линейной зависимости устойчивости пены от ее кратности последняя качественная характеристика выбрана в качестве основной. По численному значению кратности пены при необходимости можно перейти к другим качественным характеристикам. Кроме того, только кратность пены регламентируется действующими в Беларуси техническими нормативными правовыми актами (ТНПА) и указывается производителями в технической документации на розеточные оросители.

Для повышения кратности пены, генерируемой розеточным оросителем, в работе [3] проведен комплекс экспериментальных исследований по влиянию геометрических параметров дужек и розетки оросителя на данную качественную характеристику. С помощью разработанной на основе полученных данных экспериментально-статистической математической модели проведена оптимизация и получены значения геометрических параметров элементов оросителя V2 (длина дужек $L = 114 \pm 4$ мм, коэффициент рабочей поверхности розетки $K_s = 87 \pm 2$ %, внешний диаметр розетки $D = 63 \pm 3$ мм и угол конусности лопастей розетки $\alpha = 36 \pm 1^\circ$), при которых кратность пены теоретически может достичь наибольшего значения $K_{\text{теор}} = 11,7 \pm 0,4$. Ороситель V2 (рис. 2) испытан в аккредитованной испытательной лаборатории. В рамках данных испытаний получено значение кратности генерируемой оросителем V2 пены $K_{\text{экс}} = 13,6 \pm 0,2$ [4], что как минимум на 70 % больше по сравнению с применяемыми на данный момент пенными и водопенными оросителями розеточного типа.

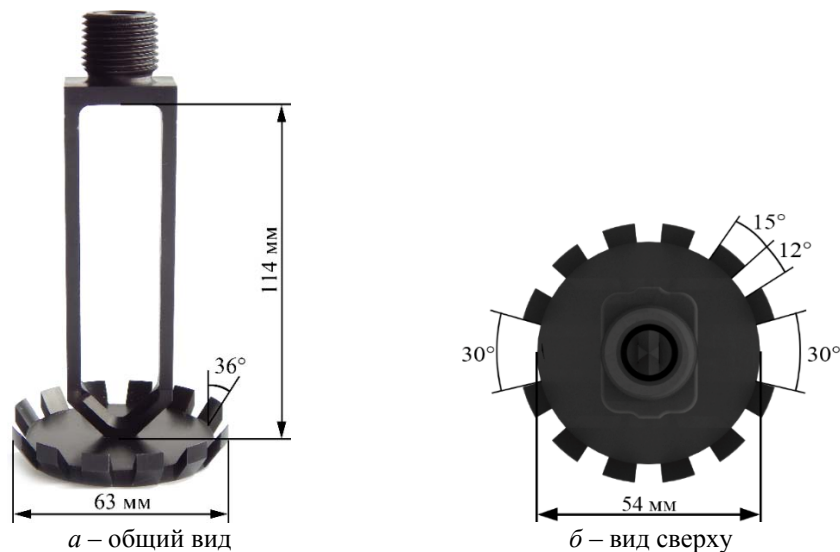


Рисунок 2. – Внешний вид оросителя V2 с оптимальной по кратности пены геометрией

Следующим этапом исследований явилось испытание оросителя V2 в модельных условиях, приближенных к реальному пожару, и определение эффективности тушения пожара пеной, генерируемой при его использовании. Для этого разработаны методики натурных испытаний и оценки эффективности тушения пеной, генерируемой пенными и водопенными оросителями. Данные методики создавались с целью упрощения и удешевления процесса натурных испытаний и оценки эффективности тушения пеной по сравнению с ме-

тодами и способами, описанными в ряде зарубежных ТНПА, касающихся такого рода испытаний^{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}. Важно отметить, что в Республике Беларусь отсутствуют ТНПА, регламентирующие проведение натуральных испытаний пенных и водопенных оросителей для АУП. С целью сравнения эффективности тушения пеной, генерируемой оросителем V2, проведены испытания с еще тремя серийно выпускаемыми для применения в пенных АУП розеточными оросителями.

Методики проведения натуральных испытаний и оценки эффективности тушения пеной, генерируемой оросителями. Основная идея разработанных методик состоит в том, что все параметры испытаний (величина модельного очага пожара, расположение в пространстве и количество одновременно испытываемых оросителей, применяемое горючее вещество (топливо), давление перед оросителем, вид и тип пенообразователя и т. д.) остаются постоянными, а изменяется только лишь применяемый ороситель. Данный подход позволяет исключить влияние факторов, не являющихся целью исследований, и позволяет сосредоточиться только на эксплуатационных характеристиках самого оросителя.

Для определения эффективности тушения пеной, генерируемой оросителем, применялась установка, схема которой представлена на рисунке 3 (размеры указаны в мм). На схеме защищаемая оросителем площадь 9 изображена в форме круга площадью 12 м² (согласно технической документации от производителей пенных и водопенных оросителей, а также ТНПА Республики Беларусь¹¹ данная площадь должна составлять не менее 12 м² при высоте установки оросителя 2,50 ± 0,05 м над защищаемой поверхностью). Как правило, пенные и водопенные оросители розеточного типа, устанавливаемые розеткой вниз, имеют симметричную форму розетки. По этой причине их факел разбрызгивания также симметричен. В рамках данных натуральных испытаний решено ограничиться исследованием только половины факела разбрызгивания площадью 6 м² (на рисунке 3б закрашенная область зеленого круга), т. е. процессы в другой половине идентичны в силу его симметрии.

Для проведения испытаний применялись средства измерений согласно таблице 1. Возможно применение других средств измерений с характеристиками не хуже, чем у приведенных, и при условии их обязательной поверки в установленном порядке.

² См. сноску 1.

³ National Fire Codes, NFPA 11: Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=11>. – Date of access: 11.06.2020.

⁴ European Standard. Fire extinguishing media. Foam concentrates. Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids: BS EN 1568-3:2018. – 18.04.2018. – Comite Europeen de Normalisation, 2018. – 62 p.

⁵ European Standard. Fire extinguishing media. Foam concentrates. Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-miscible liquids: BS EN 1568-4:2018. – 09.03.2018. – Comite Europeen de Normalisation, 2018. – 58 p.

⁶ Guidelines for the performance and testing criteria, and surveys of low expansion foam concentrates for fixed fire extinguishing systems: MSC/Circ.582/Corr.1. – 10.07.2000. – International Maritime Organization. – 14 p.

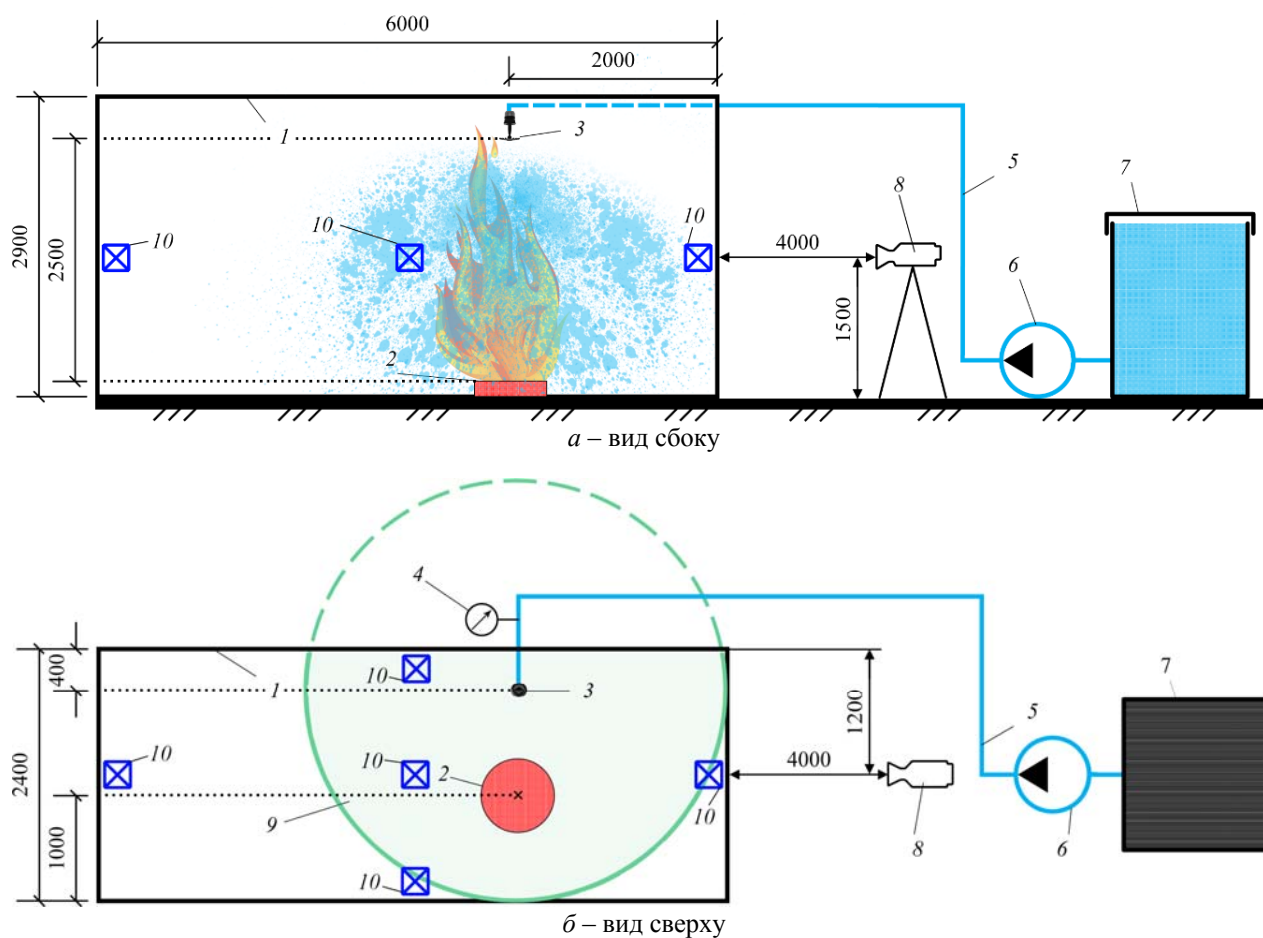
⁷ Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 1: Specification for low-expansion foam concentrates for top application to water-immiscible liquids: ISO 7203-1:2019. – 05.07.2019. – International Organization for Standardization. – 42 p.

⁸ Standard for Foam Equipment and Liquid Concentrates: UL 162. – 23.02.2018. – Underwriters Laboratories Inc. – 50 p.

⁹ Military Specification (US). Fire extinguishing agent, aqueous film forming foam, (AFFF) liquid concentrate, for fresh and sea water: MIL F 24385:F. – 05.08.1994. – US Military Specs/Standards/Handbooks. – 25 p.

¹⁰ Национальный стандарт российской федерации. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водорастворимых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 53280.1-2010. – Введ. 01.07.10. – М.: Стандартиформ, 2010. – 8 с.

¹¹ Государственный стандарт Республики Беларусь. Система стандартов пожарной безопасности. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011/ГОСТ Р 51043-2002. – Введ. 01.01.12. – Минск: Госстандарт, 2011. – 38 с.



1 – испытательное помещение; 2 – модельный очаг пожара; 3 – ороситель; 4 – манометр; 5 – трубопровод; 6 – насос; 7 – емкость с раствором пенообразователя; 8 – видеокамера; 9 – защищаемая оросителем площадь, 10 – место измерения параметров окружающей среды

Рисунок 3. – Схема установки для натуральных испытаний

Для проведения испытаний применялись средства измерений, представленные в таблице 1. Испытания проводились в испытательном помещении 1 с открытыми со стороны видеокамеры 8 дверями. Температура и влажность в нем перед началом испытаний определялись с помощью термогигрометра, а скорость движения воздушного потока – с помощью анемометра. Атмосферное давление определялось в режиме реального времени по показаниям местных метеорологических станций в радиусе 10 км.

Таблица 1. – Средства измерений

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Погрешность
Термогигрометр Testo 605-H1	0–50 °С; 5–95 %	0,1 °С; 0,1 %	± 0,6 °С; ± 3,0 %
Анемометр Testo 405-V1	0–10 м/с	0,1 м/с	± (0,31 + 5 % от изм. знач.) м/с
Лазерный дальномер Leica DISTO™ D510	0,05–200 м; 0–360°	1 мм; 0,05°	± 1 мм; ± 0,2°
Мерная емкость	0–2 л	0,005 л	± 0,003 л
Секундомер Electronika RI-01	0 ч 00 мин 00 с – 9 ч 59 мин 59,99 с	0,01 с	± (9,6 · 10 ⁻⁶ · T _{изм. знач.} + 0,01) с
Манометр МП-160	0–1,0 МПа	0,005 МПа	± 0,006 МПа

Испытуемый ороситель 3 крепился розеткой вниз на прямолинейном участке трубопровода 5 на высоте $2,45 \pm 0,01$ м (измерялось при помощи лазерного дальномера). Данная высота измерялась от верхнего среза борта противня, примененного в качестве модельного очага пожара 2, до розетки оросителя 3. Сам ороситель монтировался таким образом, чтобы

плоскость его дужек была перпендикулярна боковым стенам испытательного помещения длиной $6,0 \pm 0,1$ м.

Для измерения давления жидкости перед оросителем на трубопроводе 5 монтировался манометр 4 на расстоянии 450 ± 10 мм от оросителя 3. Данное расстояние выбрано для того, чтобы расположить манометр за пределами испытательного помещения 1 и исключить огневое воздействие на него. Гидравлические потери на участке трубопровода 5 между оросителем 3 и манометром 4 незначительны, и ими можно пренебречь. При испытаниях давление перед оросителем по показаниям манометра 4 устанавливалось на уровне $0,15 \pm 0,01$ МПа.

Здесь важно пояснить, что АУП проектируются и рассчитываются таким образом, чтобы самый удаленный от насосной станции ороситель обеспечивал как минимум нормативную интенсивность орошения защищаемой им площади [5]. Для абсолютного большинства представленных на рынке оросителей розеточного типа при высоте установки $2,50 \pm 0,05$ м над защищаемой поверхностью нормативная интенсивность орошения пеной согласно паспортным данным обеспечивается именно при минимальном рабочем давлении $0,15 \pm 0,01$ МПа. Следует также подчеркнуть, что при минимальном давлении расходуется наименьшее количество ОТВ. По этой причине определение времени тушения при минимальном рабочем давлении и минимальном расходе ОТВ является наиболее информативным и правильным с практической точки зрения.

Для генерирования пены использовался рабочий раствор синтетического пенообразователя общего назначения ПО-6РЗ (6 %). Приготовление раствора осуществлялось с помощью мерной емкости в цистерне 7 путем смешивания пенообразователя и воды в необходимом соотношении. Для видеофиксации процесса проведения испытаний видеочасть 8 (Panasonic HC-X1000, разрешение видеосъемки 1920x1080 пикселей) устанавливалась на расстоянии $4,00 \pm 0,01$ м от испытательного помещения 1 и $1,50 \pm 0,01$ м от земли.

Проведение испытаний начиналось с подготовки модельного очага пожара 2, который представлял собой круглый противень, изготовленный из стали марки Ст. 3 с номинальным диаметром 700 ± 1 мм, высотой борта 145 ± 1 мм и толщиной стенок $2,0 \pm 0,2$ мм. В данный противень с помощью мерной емкости заливалось $4,0 \pm 0,1$ л воды и сверху $9,0 \pm 0,1$ л топлива. В качестве топлива применялась смесь углеводородов с температурой кипения в пределах $80\text{--}120$ °С (гептан и изомеры – 71,0 %, метилциклогексан – 14,0 %, циклогексан – 8,0 %, другие – 7,0 %). Модельный очаг пожара устанавливается таким образом, чтобы центр противня находился на расстоянии 1000 ± 10 мм от проекции осевой линии оросителя на пол испытательного помещения 1. Не позднее 300 ± 15 с после наполнения противня топливом в нем поджигалось. Затем выдерживалось время свободного горения топлива $t_{\text{св.г.}} = 100 \pm 1$ с, которое для данных условий натуральных испытаний было установлено в рамках предварительных экспериментов, при этом критерием выбора $t_{\text{св.г.}}$ являлось наступление устойчивой температуры по показаниям установленных над модельным очагом пожара термоэлектрических преобразователей [6].

Далее запускался насос 6 (Godiva WT3010, номинальная производительность 4000 л/мин, номинальное давление 10 бар) и по трубопроводу 5 рабочий раствор пенообразователя подавался через ороситель 3 на тушение модельного очага пожара 2. В процессе тушения при помощи секундомера фиксировалось время от начала подачи раствора до полного прекращения горения. Продолжительность тушения ограничивалась временем $t_{\text{max}} = 240 \pm 1$ с, которое также определено заранее при предварительных экспериментах и соответствует моменту начала падения температуры по показаниям установленных над модельным очагом пожара термоэлектрических преобразователей в результате самопроизвольного затухания модельного очага пожара. Если тушение модельного очага пожара не наступало за данный промежуток времени, то испытание прекращалось.

Далее путем наблюдения определялось время повторного воспламенения модельного очага пожара в течение 10 мин, результат фиксировался. Оставшееся после испытания топливо вместе с водой сливалось в отдельную емкость, а борта противня очищались от образовавшегося нагара. Несгоревшее топливо при дальнейшем проведении испытаний не применялось.

По такому же алгоритму проводилось не менее трех испытаний для каждого оросителя. За результат испытаний принималось среднее арифметическое результатов успешных определений времени тушения. Расхождение между результатами испытаний с доверительной вероятностью 0,95 допускалось не более 20 % от среднего значения.

После проведения натуральных испытаний оросителей рассчитывался расход раствора пенообразователя Q (л/мин) через каждый из них по следующей формуле:

$$Q = AK_p \sqrt{P}, \quad (5)$$

где A – переводной коэффициент, $\text{с} \cdot \text{мин}^{-1}$; K_p – коэффициент производительности оросителя (указывается в технической документации к оросителю), $\text{л} / (\text{с} \cdot \text{МПа}^{1/2})$; P – рабочее давление оросителя, МПа.

Затем определялась удельная интенсивность подачи раствора пенообразователя через ороситель $I_{\text{по}}$ ($\text{л} / (\text{мин} \cdot \text{м}^2)$) с помощью выражения:

$$I_{\text{по}} = \frac{Q \cdot j_p}{S_3}, \quad (6)$$

где j_p – коэффициент, показывающий долю разбрызгиваемого оросителем ОТВ, попадающую в пределы защищаемой им площади, равной $S_3 = 12 \text{ м}^2$.

Следует отметить, что розеточные оросители разных производителей имеют отличное друг от друга соотношение количества ОТВ, попадающего внутрь защищаемой площади 12 м^2 и разбрызгиваемого за ее пределы. Чтобы учесть данный факт, введен безразмерный коэффициент j_p , который определяется по паспортным данным на каждую конкретную модель оросителя (для отобранных оросителей данный коэффициент равен: ТУ 3251 – 0,50; ороситель V2 – 0,66; ДПУ-15 – 0,67 и ДВН-11 – 0,63).

Далее для количественной оценки огнетушащей эффективности пены, генерируемой пенными и водопенными оросителями, рассчитывался показатель эффективности тушения E_t . Он объединяет два главных параметра тушения – удельный расход раствора пенообразователя $V_{\text{по}}$ ($\text{л}/\text{м}^2$) и время тушения $t_{\text{туш}}$ (мин). Показатель E_t позволяет оценить, какую площадь можно потушить 1 л раствора пенообразователя за единицу времени. Чем выше абсолютное значение показателя E_t , тем выше огнетушащий эффект. Показатель E_t ($\text{м}^2 / (\text{л} \cdot \text{мин})$) рассчитывается по следующей формуле:

$$E_t = (V_{\text{по}} \cdot t_{\text{туш}})^{-1}. \quad (7)$$





Так как $V_{\text{по}} = I_{\text{по}} \cdot t_{\text{туш}}$, то показатель эффективности тушения можно записать в следующем виде:

$$E_t = (I_{\text{по}} \cdot t_{\text{туш}}^2)^{-1}. \quad (8)$$

Результаты натуральных испытаний. В таблице 2 представлены оросители, которые испытывались по описанной выше методике, а также время тушения модельного очага пожара и повторного воспламенения для каждого из них. Поскольку оросители имеют различный удельный расход ОТВ (из-за различного коэффициента производительности K_p), для их сравнения рассчитан показатель эффективности тушения E_t , который также представлен в таблице 2.

Ввиду высокой трудоемкости натурные испытания оросителей проводились в течение двух дней. Очередность оросителей для испытаний была установлена случайным (случайным) способом.

Таблица 2. – Данные об оросителях и результаты натурных испытаний

Модель	ТУ 3251	Ороситель V2	ДПУ-15	ДВН-11
Производитель	ТУСО (США)	Университет гражданской защиты МЧС Беларуси	Спецавтоматика (Россия)	АкваВива (Беларусь)
Внешний вид				
Коэффициент производительности K_p , л / (с · МПа ^{1/2})	4,2	3,7	7,4	4,4
Время тушения $t_{туш}$, с	Нет тушения	63 ± 6	69 ± 5	121 ± 9
Повторное воспламенение	Не определялось	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Показатель E_i , м ² / (л · мин) · 10 ²	Не определялся	19,45 ± 0,03	7,81 ± 0,03	4,59 ± 0,05

В первый день испытывались ТУ 3251 и ороситель V2 при следующих параметрах окружающей среды: температура 1,9–3,1 °С, влажность 75,0–83,0 %, скорость воздушного потока 2,5–3,2 м/с (с порывами до 5,0 м/с), атмосферное давление 722 мм рт. ст. Во второй день испытывались ДПУ-15 и ДВН-11 при температуре 2,5–4,0 °С, влажности 76,0–85,0 %, скорости воздушного потока 0,9–1,5 м/с (с порывами до 3,0 м/с), атмосферном давлении 741 мм рт. ст. Процесс тушения модельного очага пожара оросителями фиксировался с помощью видеокамеры (рис. 4).

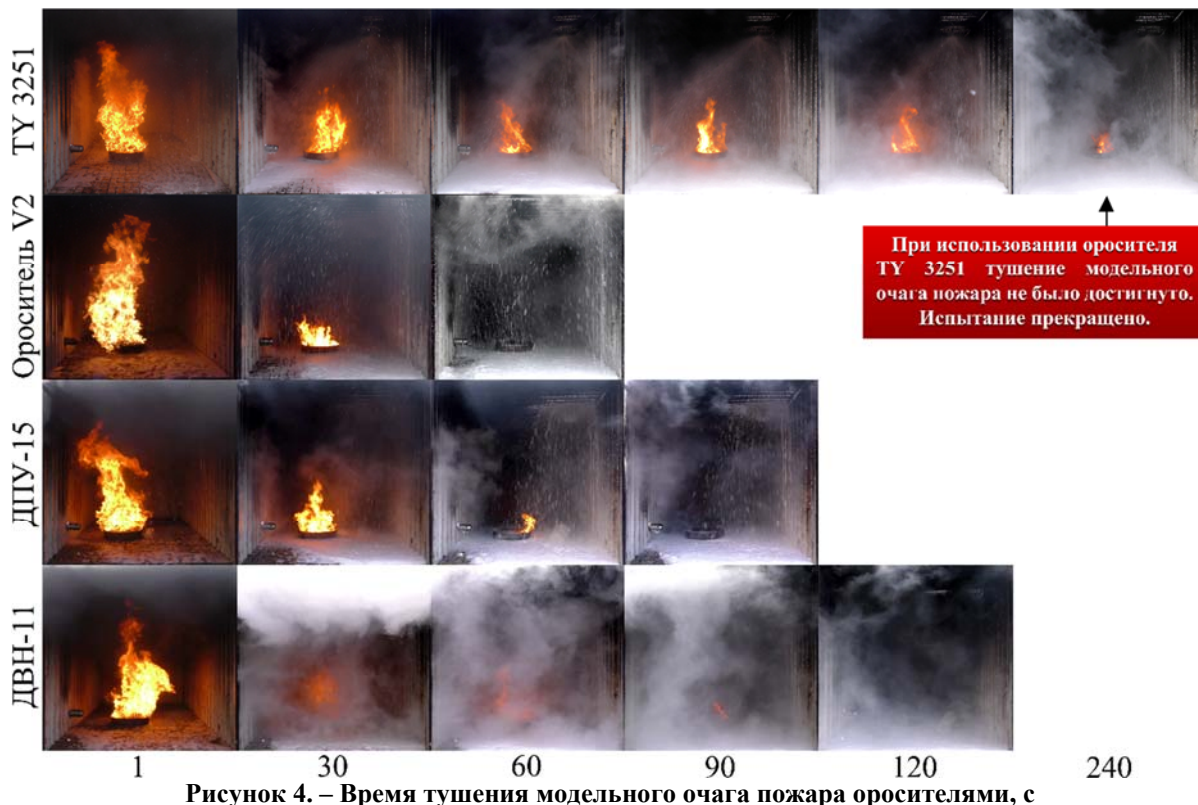


Рисунок 4. – Время тушения модельного очага пожара оросителями, с

Следует заметить, что ввиду малого рабочего давления при проведении испытаний та часть потока, которая направлялась оросителем в стену испытательного помещения, либо отбивалась от нее, либо просто стекала вниз, но ни в том, ни в другом случае не попадала в модельный очаг пожара и не влияла на результат тушения.

Согласно проведенным натурным испытаниям лучший результат (время тушения модельного очага пожара 63 ± 6 с) показал ороситель V2. При использовании оросителя ДПУ-15 тушение было достигнуто за 69 ± 5 с, а оросителя ДВН-11 за 121 ± 9 с, что на 9,5 % и 92,1 % соответственно дольше по сравнению с оросителем V2. Худший результат показан оросителем ТУ 3251 – тушение не было достигнуто за время проведения испытаний (240 ± 1 с). Объясняется это тем, что ТУ 3251 по большей степени разрабатывался для применения с пленкообразующими пенообразователями целевого назначения, для которых высокая кратность генерируемой пены не является определяющим фактором тушения пожара.

Основной огнетушащий эффект пены, генерируемой из таких пенообразователей, заключается в формировании плотной пленки на поверхности горючего вещества, которая перекрывает доступ кислорода к нему. Однако пленкообразующие пенообразователи значительно дороже и наносят больший ущерб окружающей среде по сравнению с пенообразователями общего назначения (например, ПО-6РЗ (6 %), который применялся в проведенных испытаниях) за счет наличия в них перфторалкилов, которые загрязняют почву и грунтовые воды.

Для пенообразователей общего назначения одним из определяющих факторов успешного тушения пожара является кратность генерируемой из него пены: чем она выше, тем быстрее достигается огнетушащий эффект [7; 8]. Еще одним объяснением, почему модельный очаг пожара не был потушен оросителем ТУ 3251, является распределение ОТВ по защищаемой поверхности. Так, по сравнению с остальными оросителями ТУ 3251 имеет наименьший коэффициент $j_p = 0,5$, т. е. только 50 % ОТВ попадает в пределы защищаемой площади 12 м^2 . Таким образом, основываясь на полученных результатах, можно заключить, что средняя интенсивность орошения защищаемой площади оросителем ТУ 3251 и кратность генерируемой им пены недостаточны для тушения модельного очага пожара в условиях, созданных при проведении натурных испытаний.

Следует отметить, что остальные три оросителя предназначены для работы именно с пенообразователями общего назначения, поэтому при их использовании удалось достичь тушения модельного очага пожара за отведенное в рамках испытаний время. Тем не менее для тушения очага оросителем ДВН-11 понадобилось практически в два раза больше времени по сравнению с тушением оросителем V2 и ДПУ-15. Это можно объяснить тем, что данный ороситель позиционируется производителем как водопенный, т. е. для разбрызгивания как воды, так и пены. Можно предположить, что производитель не ставил за главную цель оптимизировать конструкцию данного оросителя для генерирования пены с кратностью, сопоставимой с пенными оросителями (например, пенным оросителем V2 ($K = 13,6 \pm 0,2$)).

Основываясь на полученных показателях эффективности тушения в таблице 2, можно заключить, что при прочих равных условиях пена, генерируемая оросителем V2, имеет в 2,5 раза большую огнетушащую эффективность по сравнению с оросителем ДПУ-15 и в 4,2 раза по сравнению с ДВН-11. Отсюда можно сделать вывод, что для тушения пожара оросителем V2 необходимо меньшее количество воды и пенообразователя нежели для тушения оросителями ДПУ-15 либо ДВН-11, при этом огнетушащий эффект достигается быстрее по сравнению с аналогами. При этом следует подчеркнуть, что более быстрое тушение при меньшем расходе ОТВ позволит сократить не только материальный ущерб от пожара и процесса пожаротушения (излишнее количество ОТВ повреждает строительные конструкции, оборудование, материалы и др.), но и экологический ущерб от применения пенообразователей.

Отметим, что производители оросителей ТУ 3251, ДВН-11 и ДПУ-15 в технической документации указывают, что кратность пены при их использовании составляет не менее 5.

В то же время экспериментальные исследования [9; 10] показали, что ороситель ТУ 3251 и ему подобные (например, ДВН-11), которые имеют относительно малую длину дужек ($L = 30 \pm 3$ мм), внешний диаметр ($D = 30 \pm 3$ мм) и коэффициент рабочей поверхности розетки ($K_s = 50\text{--}65$ %), а также угол конусности лопастей розетки $\alpha \geq 90^\circ$, позволяют генерировать пены кратностью 6–8 в зависимости от используемого пенообразователя. Ороситель ДПУ-15 имеет уже близкие к оптимальным значения геометрических параметров розетки оросителя ($D = 50,0 \pm 0,2$ мм, $K_s = 86,0 \pm 0,5$ % и $\alpha = 32 \pm 1^\circ$), тем не менее, при достаточно малой длине его дужек $L = 35$ мм потенциал такой розетки не реализуется, как, например, при оптимальном значении $L = 114 \pm 4$ мм у оросителя V2. Для прогноза кратности пены, генерируемой оросителем ДПУ-15, использована экспериментально-статистическая математическая модель, описывающая взаимосвязь кратности пены с геометрическими параметрами основных элементов оросителя (дужек и розетки) [3].

В результате расчета получено прогнозное значение $K_{\text{теор}} = 8,1 \pm 0,2$. При сопоставлении значений кратности пены и показателя эффективности тушения E_t для каждого из испытанных оросителей (табл. 2) видно, что чем выше значение кратности пены, генерируемой оросителем, тем большей эффективностью тушения она обладает. Данная взаимосвязь вновь подтверждает значимость кратности пены для тушения пожаров ЛВЖ и ГЖ при использовании пенообразователей общего назначения типа S¹².

Заключение

Получена линейная зависимость устойчивости пены от ее кратности для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %) – $C = 13,84K$ (при условии, что C определяется как время выделения из ВМП 25 % жидкой фазы).

Разработана методика проведения натуральных испытаний пенных и водопенных оросителей для АУП. Данная методика позволяет с минимальными временными и материальными затратами смоделировать близкую к реальным условиям пожара ситуацию, испытать в этих условиях оросители и получить исходные данные для дальнейшей оценки эффективности тушения пеной, генерируемой ими.

Разработана методика оценки эффективности тушения пеной, генерируемой пенными и водопенными оросителями для АУП. С помощью данной методики можно сравнить огнетушащую эффективность пены, генерируемой оросителями, по специальному показателю эффективности тушения E_t , учитывающему время тушения пожара и расход раствора пенообразователя.

Согласно разработанной методике проведены натурные испытания оросителя V2 и применяемых в пенных АУП оросителей ТУ 3251 (ТУСО, США), ДПУ-15 (Спецавтоматика, Россия), ДВН-11 (АкваВива, Беларусь). По методике оценки эффективности тушения пеной для каждого испытанного оросителя рассчитан показатель эффективности тушения E_t . Согласно полученным результатам пена, генерируемая оросителем V2, обладает в 2,5 раза большей огнетушащей эффективностью по сравнению с пеной оросителя ДПУ-15 и в 4,2 раза по сравнению с ДВН-11. Оросителем ТУ 3251 в рамках созданных условий при натуральных испытаниях модельный очаг пожара потушить не удалось. На основании полученных результатов показано, что эффективность тушения пеной, генерируемой оросителем, зависит от ее кратности, при этом чем выше данная качественная характеристика, тем быстрее достигается огнетушащий эффект.

Результаты исследований получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Т19М-090).

¹² См. сноску 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, И.В. Установки автоматического пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков; Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2018. – 148 с.
2. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.
3. Kamluk, A.N. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov // *Fire Safety Journal*. – 2019. – Vol. 109. – P. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
4. Лихоманов, А.О. Комплексные испытания оросителя, оптимизированного по кратности пены / А.О. Лихоманов // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 247–254. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.247.
5. Мешман, Л.М. Влияние проектного значения интенсивности орошения диктующего оросителя на гидравлические параметры распределительной сети АУП / Л.М. Мешман // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2019. – Т. 28, № 2. – С. 93–97.
6. Лихоманов, А.О. Время свободного горения топлива в модельном очаге для натуральных испытаний пенного оросителя / А.О. Лихоманов, А.Н. Камлюк // *Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–9 апр. 2020 г. / Ун-т гражданской защиты МЧС Беларуси*. – Минск, 2020. – С. 84–86.
7. Корольченко, Д.А. Огнетушащая эффективность пены низкой кратности / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников, Е.Н. Дегаев // *Научное обозрение*. – 2015. – № 8. – С. 114–120.
8. Хиль, Е.И. Экспериментальное определение минимального удельного расхода и оптимальной интенсивности подачи пенообразователя при тушении пламени нефтепродуктов / Е.И. Хиль, С.С. Воевода, А.Ф. Шароварников, И.П. Макарова // *Пожарная безопасность*. – 2015. – № 4. – С. 76–81.
9. Лихоманов, А.О. Обоснование применения розеточных оросителей, изготавливаемых при помощи аддитивных технологий, в экспериментальных исследованиях качественных характеристик воздушно-механической пены низкой кратности / А.О. Лихоманов, Э.Г. Говор, А.Н. Камлюк // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 25–39. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.25.
10. Камлюк, А.Н. Экспериментальные исследования влияния конструктивных элементов оросителей на кратность воздушно-механической пены / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 167–177. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.167.

Экспериментальное определение эффективности тушения пожара класса В пеной низкой кратности, генерируемой розеточными оросителями
Experimental determination of the Class B fire extinguishing efficiency using low-expansion foam generated by deflector type sprinklers

Камлюк Андрей Николаевич

кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», заместитель начальника университета по научной и инновационной деятельности

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

Andrey N. Kamlyuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Deputy Chief of the University on Scientific and Innovative Activity

Address: ul. Mashinostroiteley, 25, 220118, Minsk, Belarus

e-mail: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

Лихоманов Алексей Олегович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», факультет подготовки научных кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Faculty of Postgraduate Scientific Education, Adjunct

Address: ul. Mashinostroiteley, 25, 220118, Minsk, Belarus

e-mail: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Грачулин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», ученый секретарь Совета университета

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: Grachulin@ucp.by

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Academic Secretary of the University

Address: ul. Mashinostroiteley, 25, 220118, Minsk, Belarus

e-mail: Grachulin@ucp.by

ORCID: 0000-0003-3832-8258

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.251>

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE CLASS B FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY USING LOW-EXPANSION FOAM GENERATED BY DEFLECTOR TYPE SPRINKLERS

Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V.

Purpose. To establish the relationship between the foam expansion rate and stability of low-expansion air-mechanical foam generated in deflector type sprinklers for automatic extinguishing systems. To develop a methodology and carry out field tests of foam and foam-water sprinklers. To compare the extinguishing efficiency of the tested sprinklers basing on the results of field tests.

Methods. The method of regression analysis was used to establish the dependence of the foam stability on its expansion rate. The assessment of the extinguishing efficiency of the sprinklers was carried out experimentally, and the processing of the obtained experimental data was carried out using the method of estimation and expression of measurement uncertainty.

Findings. A linear relationship has been established between the expansion rate K and stability C of the low-expansion air-mechanical foam: $C = \gamma \cdot K$, where γ is an empirical coefficient depending on the physicochemical properties of the foaming agent. The empirical dependences $C = f(K)$ were obtained for brand of the foaming agents PO-6RZ (6 %). The methodology was developed and field tests of four deflector type sprinklers (V2 sprinkler with optimized geometry on the foam expansion rate, TY 3251 (USA), DPU-15 (Russia) and DVN-11 (Belarus)) were carried out. To compare the extinguishing efficiency of the sprinklers, the extinguishing efficiency indicator E_t was used. This indicator takes into account the extinguishing time of the model fire site and the discharge rate of the extinguishing agent. In the result of field tests, it was found that the V2 sprinkler has at least 2.5 times better extinguishing efficiency compared to other tested sprinklers.

Application field of research. The obtained empirical dependence $C = \gamma \cdot K$ can be used to predict the stability of the foam based on its expansion rate value and vice versa. The developed methods of field testing and evaluating the extinguishing efficiency of foam and foam-water deflector type sprinklers can be implemented for the development of standards, as well as for the study of other sprinklers in conditions close to a real fire.

Keywords: foam expansion rate, foam stability, foam dispersion, extinguishing efficiency, extinguishing time, extinguishing agent discharge, automatic extinguishing system, sprinkler, field tests.

(The date of submitting: June 25, 2020)

REFERENCES

1. Kachanov I.V, Karpenchuk I.V., Pavlyukov S.Yu. *Ustanovki avtomaticheskogo pozharotusheniya s predvaritel'noy aeratsiyey ognetyashashchey rabochey sredy* [Automatic fire extinguishing systems with preliminary aeration of a fire extinguishing medium]: monograph. Belarusian National Technical University. Minsk: BNTU, 2018. 148 p. (rus)
2. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy* [Compression foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus)
3. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 109. Pp. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
4. Likhomanov A.O. Comprehensive testing of the sprinkler optimized by the foam expansion rate. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 247–254. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.247.
5. Meshman L.M. Effect of irrigation intensity design value dictating the sprinkler on the hydraulic parameters of the distribution network AFES. *Fire and Explosion Safety*, 2019. Vol. 28, No. 2. Pp. 93–97. (rus)
6. Likhomanov A.O. Vremya svobodnogo goreniya topliva v model'nom ochage dlya naturnykh ispytaniy pennogo orositelya [The time of free combustion of fuel in the model center for full-scale testing of the foam sprinkler]. *Proc. XIV Intern. scientific-practical conf. «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*, Minsk, April 8–9, 2020. University of Civil Protection. Minsk, 2020. Pp. 84–86. (rus)

7. Korol'chenko D.A., Sharovarnikov A.F., Degaev E.N. Ognetchashchaya effektivnost' peny nizkoy kratnosti [Fire extinguishing efficiency of foam of low expansion rate]. *Nauchnoe obozrenie*, 2015. No. 8. Pp. 114–120. (rus)
8. Khil' E.I., Voevoda S.S., Sharovarnikov A.F., Makarova I.P. Experimental determination of minimum discharge intensity and optimum rate of foaming agent input during suppression of oil products flame. *Fire Safety*, 2015. No. 4. Pp. 76–81. (rus)
9. Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamlyuk A.N. The substantiation of the application of deflector sprinklers manufactured by additive technologies in experimental studies of qualitative characteristics of the low-expansion air-mechanical foam. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 25–39. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.25.
10. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Experimental investigations of the influence of the structural elements of sprinklers on the expansion rate of air-mechanical foam. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 2. Pp. 167–177. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.167.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.265>

УДК 550.34.03

ОПЫТ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА ПО КОМПЛЕКСУ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А.

Цель. Выявление региональных закономерностей сейсмического процесса и разработка на их основе методов долгосрочной оценки сейсмологической обстановки на территории Узбекистана.

Методы. Прогнозирование мест ожидаемой в ближайшие годы сейсмической активизации на территории Узбекистана основывается на закономерностях изменений прогностических параметров сейсмического режима в очаговых зонах сильных землетрясений и особенностях проявления совокупности землетрясений в пределах сейсмоактивных зон.

Результаты. Установлено, что в пределах сейсмоактивных зон имеются области, в которых сейсмическая активность на уровне сильных землетрясений за исторический период времени была очень высокой. Эти области считаются потенциально опасными для возникновения землетрясений в дальнейшем. По количеству проявившихся на текущий момент времени аномальных признаков в различных прогностических параметрах сейсмического режима области ранжированы по вероятности возникновения сильных землетрясений в ближайшие годы.

Область применения исследований. Результаты проведенных исследований необходимы для разработки антисейсмических мероприятий на территории Республики Узбекистан.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз землетрясений, параметры сейсмического режима, сейсмическая активность, сейсмическая брешь.

(Поступила в редакцию 21 мая 2020 г.)

Введение

Современные карты сейсмического районирования указывают зоны, в которых интенсивность сейсмических воздействий с заданной вероятностью не будет превышена в течение 50–100 лет. Вопрос же о том, какие из сейсмоопасных зон проявят себя сейсмической активизацией в ближайшие годы, нуждается в детальном рассмотрении, основанном на выявлении пространственно-временных и энергетических закономерностей развития сейсмического процесса в очагах сильнейших землетрясений, исследовании направленности его протекания в пределах сейсмоактивной зоны, установлении особенностей взаимосвязи между геодинамическим режимом различных активных тектонических структур с учетом их характерных размеров. В статье приводится обсуждение разработанной методологии оценки текущей сейсмологической обстановки по комплексу прогностических параметров сейсмического режима и построенной на ее основе карты областей ожидаемой на территории Узбекистана сейсмической активизации в ближайшие годы.

Первая карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы (рис. 1) была построена в конце 2015 г. [1–3] и передана в МЧС Республики Узбекистан для проведения необходимых антисейсмических мероприятий. Практически все сильные (с $M \geq 5$) землетрясения, произошедшие на территории Узбекистана и в сопредельных с ним областях в 2016–2017 гг., попали в выделенные на данной карте области долгосрочного прогноза, в которых вероятность их возникновения оценивалась как высокая и очень высокая, что свидетельствует о перспективности разрабатываемой методологии долгосрочного прогноза мест ожидаемой сейсмической активизации. С учетом меняющейся сейсмологической обстановки в регионе, индикаторами которой являются происходящие землетрясения слабой

и умеренной силы, разрабатываемые карты областей ожидаемой сейсмической активизации нуждаются в обновлении каждые один-два года. Следующая по времени карта областей ожидаемой сейсмической активизации на территории республики была построена по сейсмологическим данным, оканчивающимся декабрем 2017 г., и внедрена в МЧС Республики Узбекистан в 2018 г. Основные этапы ее построения излагаются в настоящей статье.

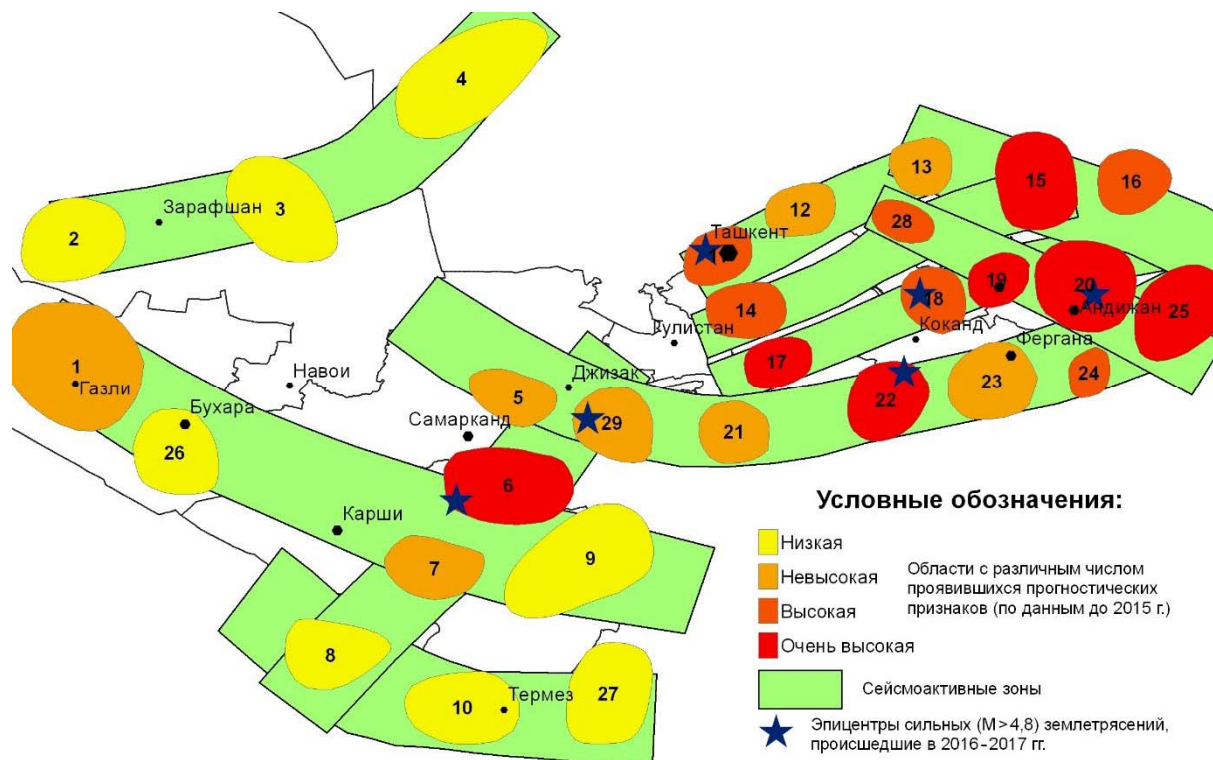


Рисунок 1. – Карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима, построенная в 2015 г. и переданная в МЧС Республики Узбекистан

Основная часть

Методология выявления областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима

При изучении сейсмичности исследуемой территории использовался каталог землетрясений территории Узбекистана и прилегающих к нему областей, составленный в Институте сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан. Каталог включает параметры исторических и инструментальных землетрясений. Инструментальный период наблюдений на территории Узбекистана начинается с 1901 г., когда в республике была установлена первая сейсмическая станция «Ташкент». Сеть сейсмометрических наблюдений развивалась в последующие годы. В настоящее время на территории Узбекистана функционирует свыше 50 стационарных сейсмических станций. Сведения о сильных землетрясениях, которые происходили в доинструментальный период, были заимствованы из каталога сильных землетрясений СССР с древнейших времен, составленного под редакцией Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина [9]. Такие землетрясения в сейсмологической терминологии принято называть историческими, а временной интервал, когда происходили эти сейсмические события, – историческим периодом.

В качестве основной характеристики для классификации землетрясений по величине в региональном каталоге используется энергетический класс землетрясений K , определяемый по сумме амплитуд объемных P - и S -волн, зарегистрированных короткопериодной аппаратурой. Энергетический класс землетрясений K был введен в сейсмологическую прак-

тику в работах Т.Г. Раутиан [10]. Он связан с высвобожденной при землетрясениях сейсмической энергией E формулой $K = \lg E$, Дж. Переход от энергетического класса K к локальной (Рихтеровской) магнитуде M_L (далее – M), определяемой по измерениям амплитуд смещений объемных волн на короткопериодной аппаратуре, осуществлялся на основе номограммы Т.Г. Раутиан для территории Средней Азии [10]:

$$K = 1,8 M + 4,0 \quad (M < 5,5);$$

$$K = 1,5 M + 5,6 \quad (M \geq 5,5).$$

Прогноз мест ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы базируется на закономерностях протекания сейсмического процесса в очаговых областях сильных землетрясений и особенностях проявления совокупности сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон.

На первом этапе в пределах сейсмоактивных зон выделяются такие пространственные области, в которых сейсмическая активность на уровне сильных землетрясений за исторический период была весьма высокой. Это области интенсивного дробления земной коры. Они определяют, пользуясь терминологией Ю.В. Ризниченко [4], современный сейсмический климат исследуемой территории. В связи с малой изменчивостью направленности протекания сеймотектонических процессов, определяющих современное напряженное состояние сейсмоактивных зон, с большой степенью вероятности именно эти области проявят себя высокой сейсмической активностью и в ближайшие десятилетия.

На втором этапе по выявленным за последние годы аномальным изменениям в параметрах сейсмического режима выделенные ранее области долгосрочного прогноза ранжируются по вероятности ожидания в них сильных землетрясений в течение 5–6 ближайших лет. Тем самым определяется, пользуясь той же терминологией [4], сейсмическая погода.

Остановимся подробнее на описании каждого этапа.

На основе анализа сейсмологических и сеймотектонических данных на территории Узбекистана выделено десять сейсмоактивных зон, направление которых совпадает с простираем крупных геотектонических структур [5–8], способных генерировать землетрясения с магнитудой $M \geq 5$. Это Ташкентская (1), Южно-Ферганская (2), Восточно-Ферганская (3), Нурекатино-Ангренская (4), Северо-Ферганская (5), Южно-Узбекистанская (6), Амударьинская (7), Газли-Каратагский фрагмент Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны (8), Северо-Тамдынская зона (9) и Таласо-Ферганская зона (10).

На рисунке 2 показаны выделенные сейсмоактивные зоны и эпицентры землетрясений с $M \geq 4,7$ ($K \geq 12,6$) территории Узбекистана и сопредельных областей, начиная с исторических времен. Как видно из рисунка, сильные землетрясения располагаются не равномерно по сейсмоактивной зоне, а концентрируются в виде групп в областях с линейными размерами 50–80 км. На карте эпицентров землетрясений эллипсами различных размеров отмечено 29 мест таких скоплений.

Сосредоточение сильных землетрясений в компактных областях имеет реальную физическую природу. Места остановки разрывов от происшедших землетрясений являются дополнительными концентраторами напряжений. Поэтому последующим подвижкам, по мере роста тектонических напряжений в пределах сейсмоактивной зоны, проще всего реализоваться именно в этих областях. Данные соображения, безусловно, перекликаются с концепцией сейсмической брешы [11; 12], но линейные размеры выделяемых областей существенно меньше, чем это предусмотрено в рамках упомянутой концепции. Так, с учетом длины очага тектонического землетрясения с $M \geq 7$ [4], область, охватывающая три Газлийских землетрясения 1976 и 1984 гг. с магнитудами от 7,0 до 7,3, должна превысить 150 км. В реальности же она значительно компактней и не превышает 70–80 км.

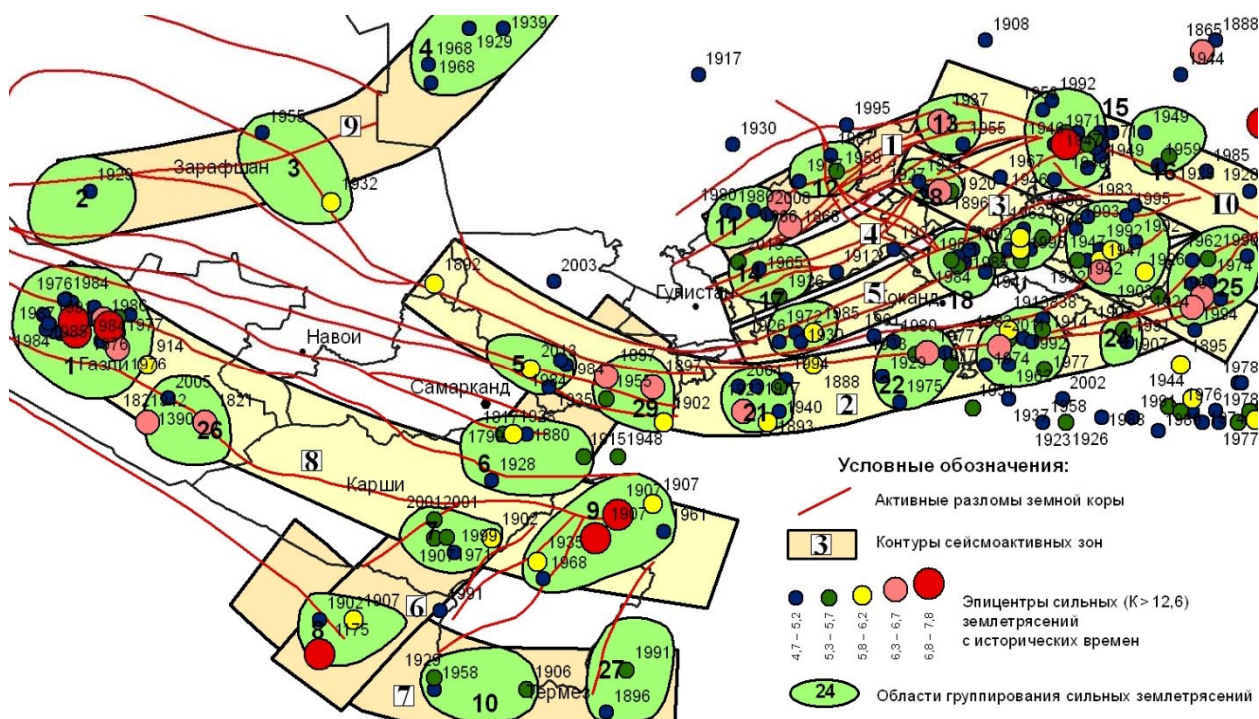


Рисунок 2. – Сейсмоактивные зоны территории Узбекистана и эпицентры сильных ($M \geq 4,7$) землетрясений с исторических времен

Сопоставляя карты эпицентров, построенные за различные временные интервалы (до 1900 г. и начиная с инструментального периода), можно отметить, что выделенные области с высокой концентрацией сильных землетрясений достаточно устойчиво сохраняют свою конфигурацию. Анализ сейсмологической обстановки в этих областях составляет основное содержание второго этапа.

Существуют определенные статистические закономерности в пространственно-временном распределении последовательных сильных землетрясений, происходящих в пределах единой сейсмоактивной зоны. На основе анализа представительных сейсмических событий с $M \geq 4,8$ начиная с 1900 г. (более 200 сейсмических событий) установлено [13], что для 65 % землетрясений временной интервал между двумя последовательными сейсмическими событиями, возникшими в одной и той же сейсмоактивной зоне, не превосходит пяти лет. И в равных долях, примерно по 10 %, временной интервал между двумя последовательными сейсмическими событиями составляет 6–10, 11–15 и 16–20 лет (рис. 3). Преобладание короткой (до 5 лет) сейсмической паузы между последовательными сейсмическими событиями свидетельствует о том, что землетрясения, возникающие в пределах сейсмоактивной зоны, происходят не равномерно во времени, а группируются в периоды сейсмической активизации.

В пространственном расположении очага последующего землетрясения относительно местоположения предыдущего землетрясения выявляются следующие закономерности (рис. 4). Если последующее сильное землетрясение происходит в первые пять лет после уже возникшего, то, вероятней всего, оно будет находиться в менее чем 70 км от предыдущего.

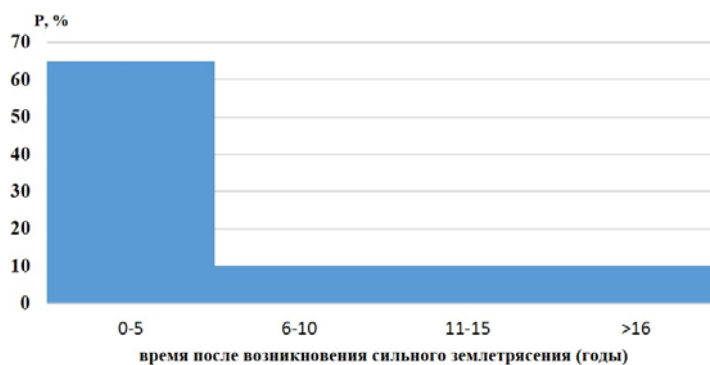


Рисунок 3. – Распределение по времени интервалов между двумя последовательными землетрясениями, произошедшими в пределах сейсмоактивной зоны

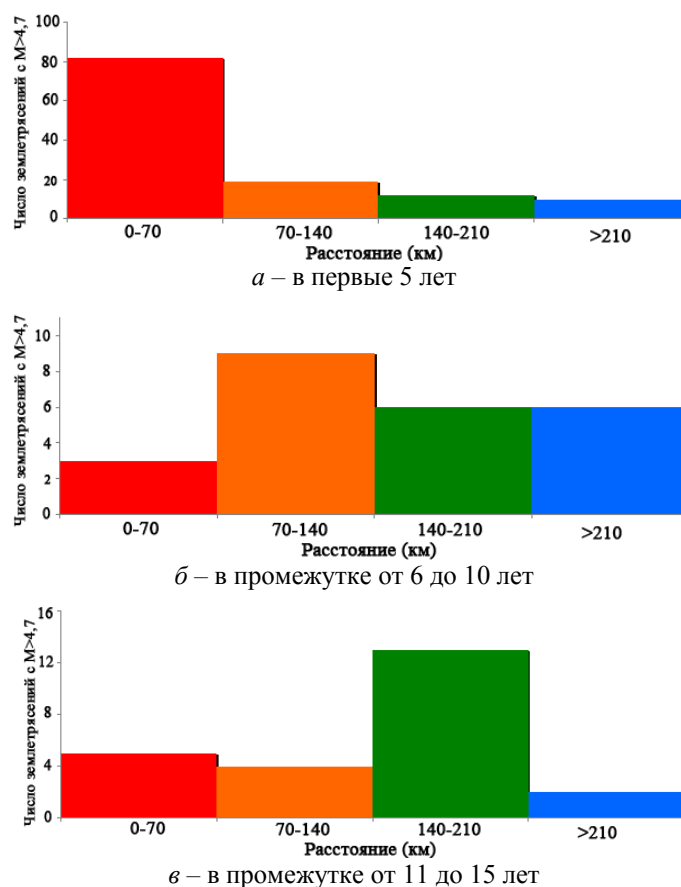


Рисунок 4. – Распределение в пространстве последующих сильных землетрясений сейсмоактивной зоны относительно предыдущего в различные промежутки времени

Это могут быть не только афтершоки предыдущего землетрясения, но и самостоятельные сильные толчки, происходящие в компактных пространственно-временных интервалах, в результате чего мы наблюдаем так называемую миграцию землетрясений, а также одиночные землетрясения, возникающие на незначительном удалении от происшедшего сильного землетрясения (эффект расхождения сейсмичности).

Если последующее сильное землетрясение возникает во временном промежутке от 6 до 10 лет после возникновения предшествующего, то с наибольшей вероятностью оно произойдет на расстоянии от 70 до 140 км от него. И наконец, если последующее сильное землетрясение возникает во временном промежутке от 11 до 15 лет после возникновения предшествующего, то с наибольшей вероятностью оно произойдет на расстояниях от 140 до 210 км от него.

На основе эмпирического распределения пространственно-временных интервалов возникновения последующего сильного землетрясения относительно предыдущего, с учетом места и времени возникновения последних сильных землетрясений в зоне построена карта областей ожидаемой сейсмической активизации территории Узбекистана на ближайшие годы по данному прогностическому признаку (рис. 5).

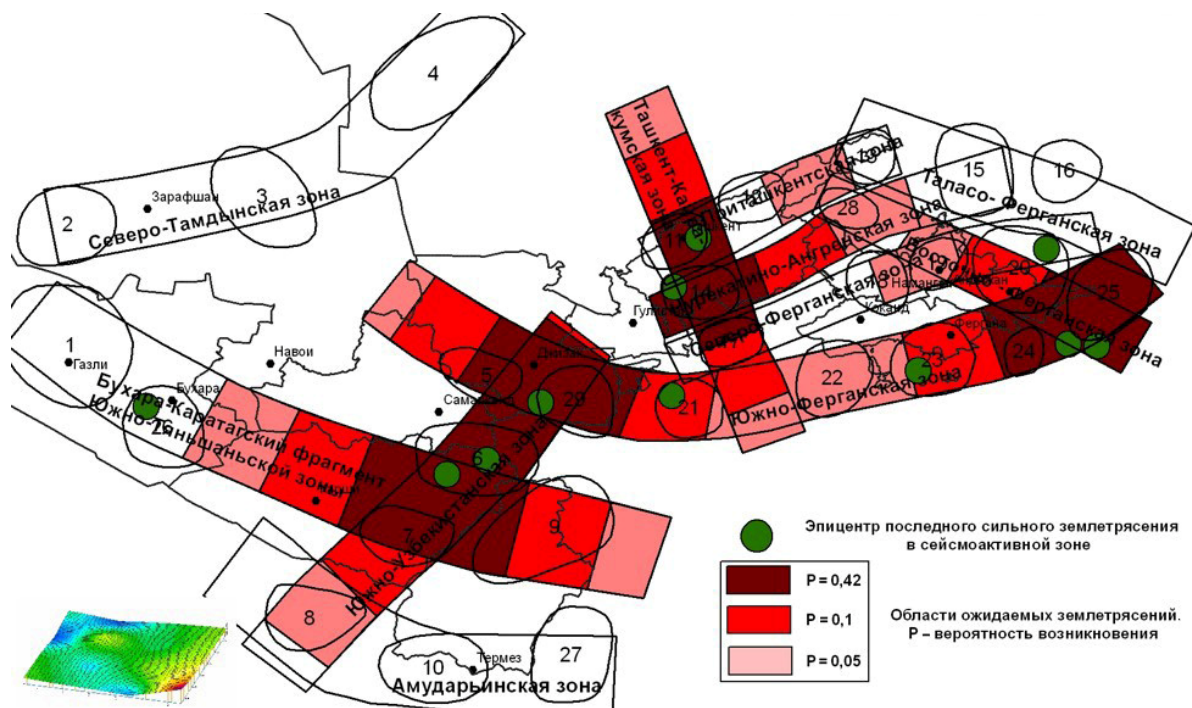


Рисунок 5. – Карта мест ожидания сильных землетрясений по закономерностям пространственно-временного распределения последовательных сейсмических событий

Для каждой сейсмоактивной зоны и различных ее сегментов по землетрясениям с магнитудами M от 2,5 до 4,5 были определены параметры повторяемости землетрясений различного энергетического уровня [14] – сейсмическая активность и сейсмическая дробность среды (параметры a и b в уравнении Гуттенберга-Рихтера $N(M) = 10^{a-Mb}$, где $N(M)$ – число событий с магнитудой $\geq M$). С учетом даты последнего землетрясения с $M \geq 4,8$, произошедшего в сейсмоактивной зоне и в различных ее сегментах, в предположении, что сильные землетрясения образуют Пуассоновский поток событий, оценена вероятность возникновения очередного сильного землетрясения в зоне на текущий момент времени. Карта зон ожидания сильных землетрясений по длительности сейсмической паузы землетрясений с магнитудой $M \geq 4,8$ показана на рисунке 6. Глубина сейсмического затишья на данной карте характеризуется количеством средних периодов $T_{M=4,8}$, в течение которых землетрясений такого энергетического уровня в зоне не происходило, и вероятностью их возникновения на текущий момент по распределению Пуассона.

Наибольшей глубиной сейсмического затишья по землетрясениям с $M \geq 4,8$ характеризуется центральная часть Северо-Ферганской сейсмоактивной зоны, где в 1984 г. отмечалась череда Папских землетрясений, и восточная часть Таласо-Ферганской сейсмоактивной зоны, где последнее сильное землетрясение датируется 1928 г. На этих участках длительность сейсмической паузы по сейсмическим событиям с $M \geq 4,8$ составляет 4–5 средних периода повторения землетрясений такой интенсивности. Велика вероятность возникновения сейсмической активизации по данному прогностическому признаку и в центральной части данной зоны, а также на концевых участках Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны и в пределах западного и центрального участков Газли-Карагаского фрагмента Южно-Тянь-Шаньской сейсмоактивной зоны. Здесь сейсмическая пауза по землетрясениям с $M \geq 4,8$ составляет 2–3 средних периода повторения землетрясений такой

силы. Эти области, в которых активность слабых землетрясений высока, а разрядки в виде сильных землетрясений не происходит, представляют значительный интерес в плане долгосрочного прогноза сейсмической активизации.

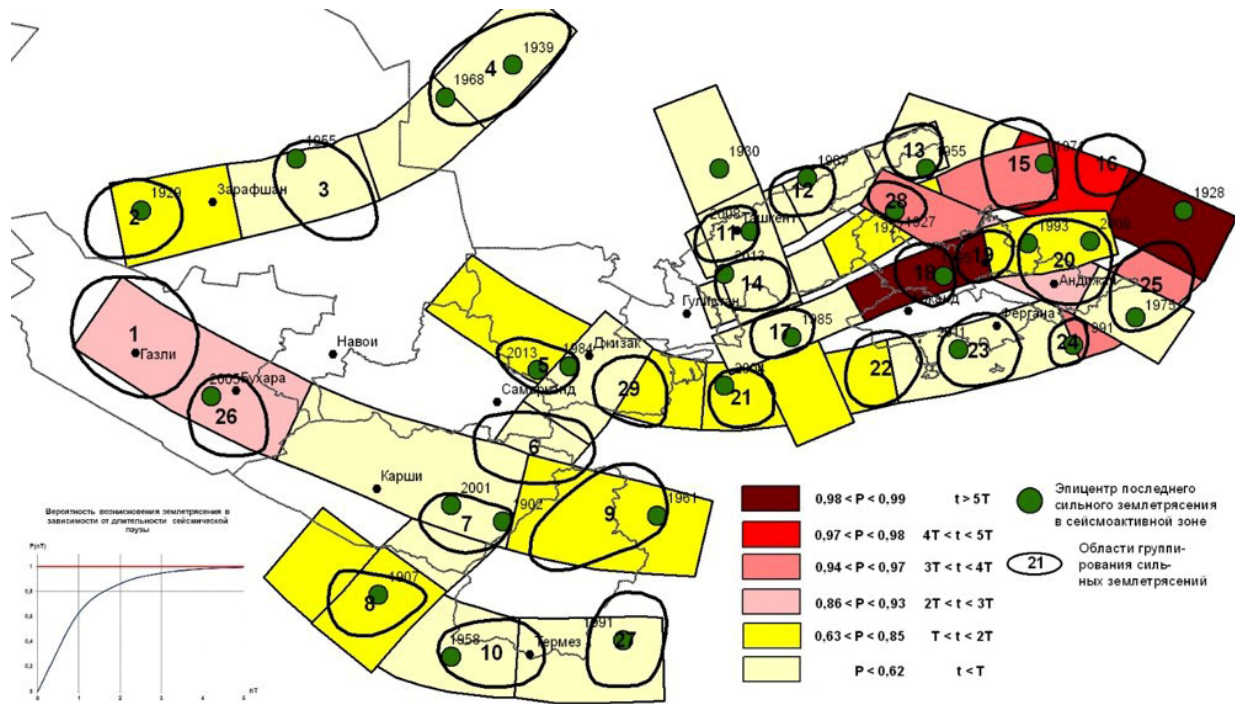


Рисунок 6. – Вероятностная карта ожидания сильных землетрясений в сейсмоактивной зоне по длительности сейсмической паузы землетрясений с $M \geq 4,8$

Вместе с тем, учитывая, что сильные землетрясения происходят неравномерно во времени, делать прогноз, опираясь только на графики повторяемости землетрясений, нельзя.

Дальнейшее исследование текущей сейсмологической обстановки в пределах сейсмоактивных зон проводилось на основе анализа комплекса прогностических параметров сейсмического режима, характеризующих кинетику процесса трещинообразования очаговой области по мере приближения к моменту магистрального разрыва [15–18]. С этой целью были рассчитаны средние долговременные значения параметров сейсмического режима и их флуктуации, отмеченные за последние годы, в каждой точке сейсмоактивной зоны, и выявлены области, в которых на текущий момент времени отмечаются аномалии. При этом особое внимание отводилось тем 29 областям, расположенным в пределах сейсмоактивных зон, в которых за исторический период времени и за период инструментальных наблюдений уже происходили сильные землетрясения. Рассматривались следующие параметры сейсмического режима, представляющие прогностическую ценность [15–18]:

- суммарное количество землетрясений N_{Σ} , происходящих в каждой точке сейсмоактивной зоны в единицу времени, на предмет выявления областей сейсмической активизации и сейсмического затишья [11; 14–18], а также нахождения областей, где на текущий момент времени наблюдаются эффекты так называемой кольцевой активности [11];
- временные изменения угла наклона графика повторяемости землетрясений γ в распределении сейсмических событий по энергетическим классам (закон Гутенберга – Рихтера), который называется сейсмической дробностью среды;
- совместное поведение сейсмической активности и сейсмической дробности;
- параметры, характеризующие степень сгруппированности сейсмических событий во времени и в пространстве [17; 18];

– энергетические характеристики сейсмического режима, которые описываются функцией логарифма выделившейся сейсмической энергии, графиками Бенъоффа, площадью образующихся в процессе сейсмической деформации разрывов, пропорциональных выделенной энергии с показателем степени 2/3.

Для различных прогностических параметров сейсмического режима размеры круговых областей, в которых они рассчитывались, а также пороговые значения флуктуаций, выход за которые интерпретировался как проявление аномалии, выбирались на базе ретроспективного анализа сейсмического процесса в областях уже проявившихся землетрясений (с этой целью были проанализированы временные изменения параметров сейсмического режима в очаговых зонах свыше 40 сильных землетрясений). На рисунках 7–8 показаны примеры проявления предвестников активизация сейсмичности по параметру N_{Σ} и аномалии сейсмической дробности (параметр γ), наблюдавшиеся перед некоторыми сильными землетрясениями на территории Узбекистана.

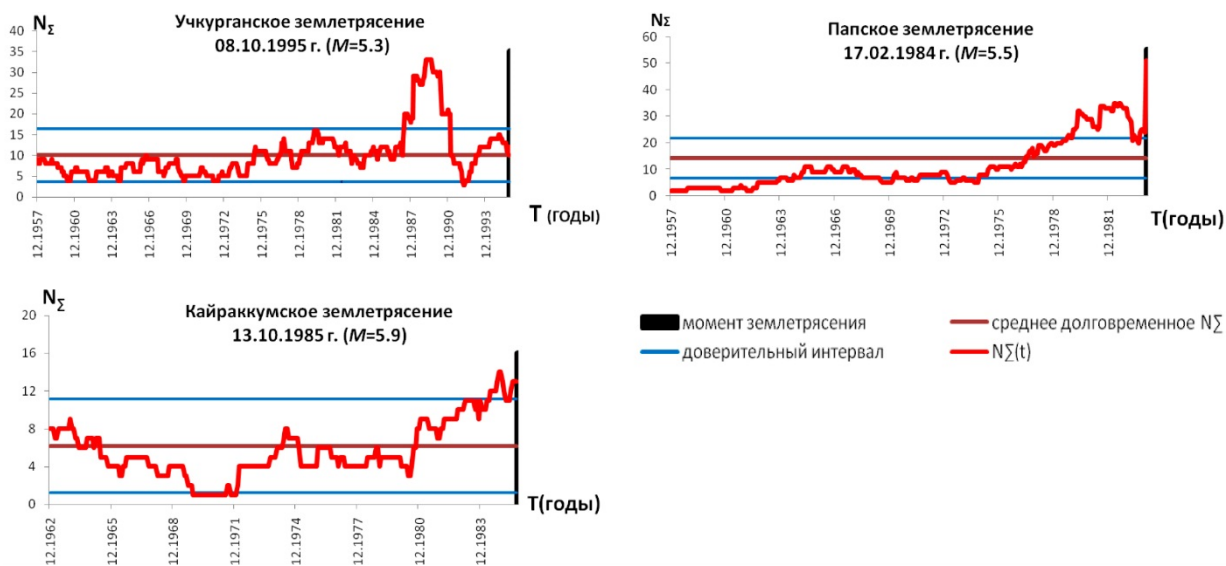


Рисунок 7. – Примеры проявления предвестника активизация сейсмичности по параметру N_{Σ} перед некоторыми землетрясениями на территории Узбекистана

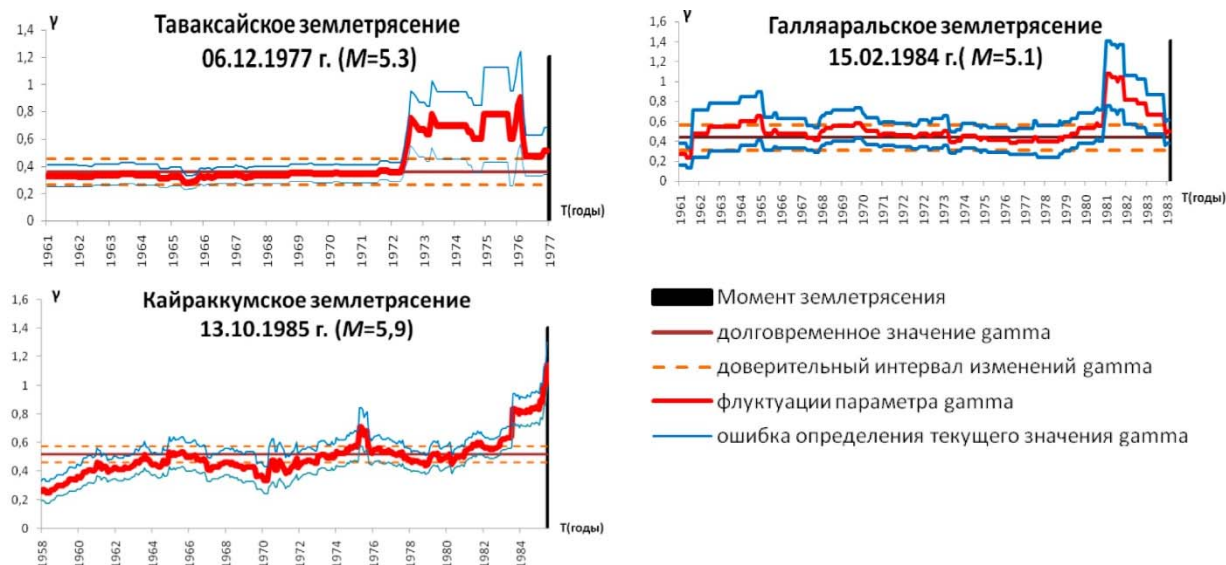


Рисунок 8. – Примеры проявления предвестника аномалии сейсмической дробности (параметр γ) перед некоторыми землетрясениями на территории Узбекистана

На рисунках 9–10 показаны области, в которых на 1 января 2018 г. наблюдались аномалии по параметру N_{Σ} и вариациях угла наклона графика повторяемости землетрясений (параметр γ). Поскольку, как отмечалось выше, подобные аномалии неоднократно предшествовали сильным землетрясениям, они имеют определенную прогностическую ценность.

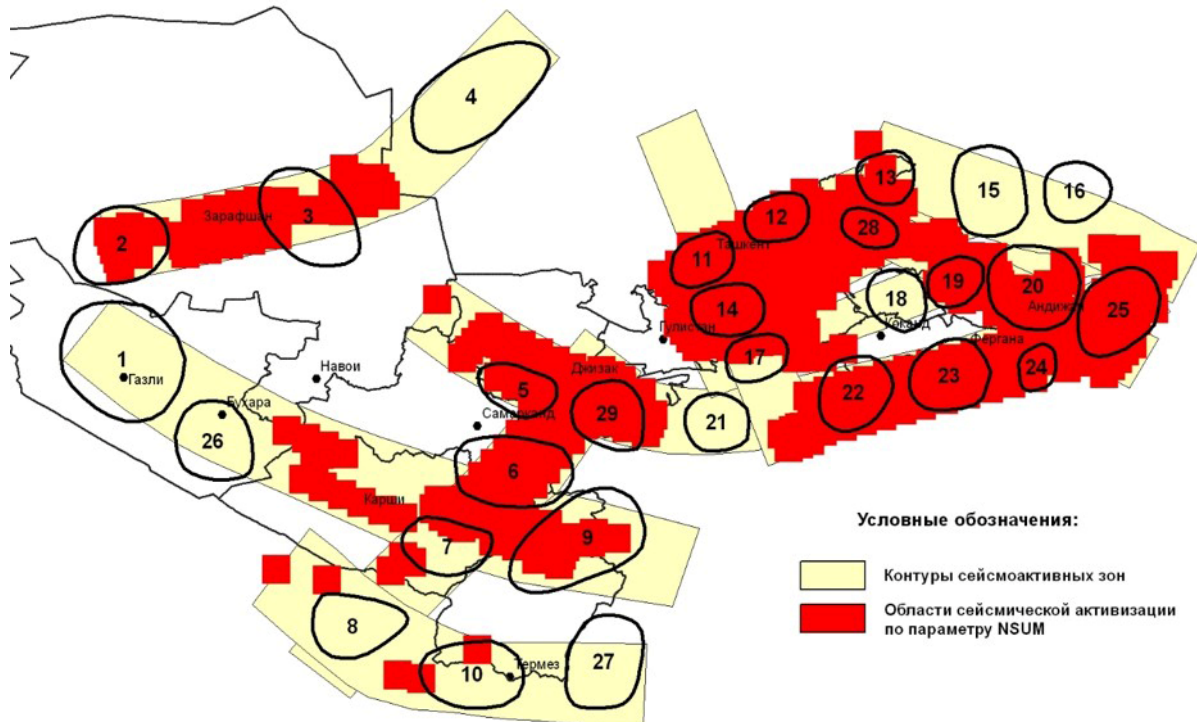


Рисунок 9. – Области сейсмической активизации по параметру N_{Σ} на 1 января 2018 г.

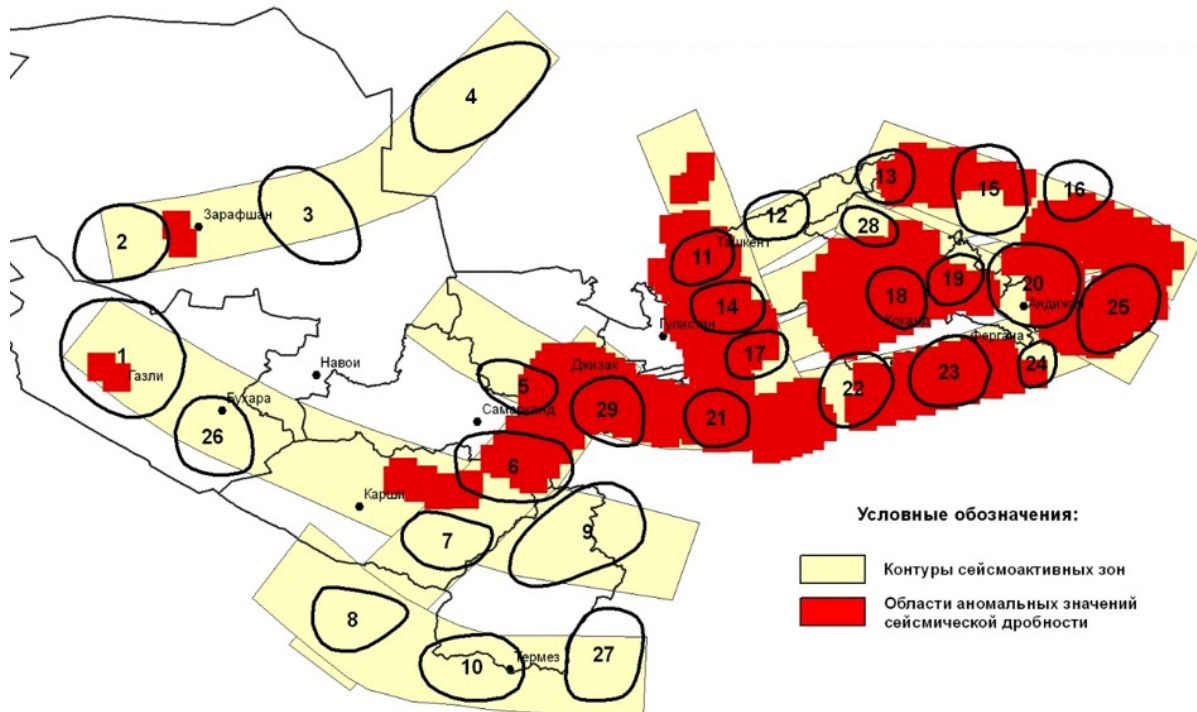


Рисунок 10. – Области аномальных значений сейсмической дробности на 1 января 2018 г.

Действующая карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима

На основе анализа комплекса прогностических признаков в начале 2018 г. была разработана и внедрена в МЧС Республики Узбекистан следующая по времени (после первой карты, построенной в 2015 г.) карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы (рис. 11). В эту карту вошли сейсмологические данные, оканчивающиеся декабрем 2017 г.

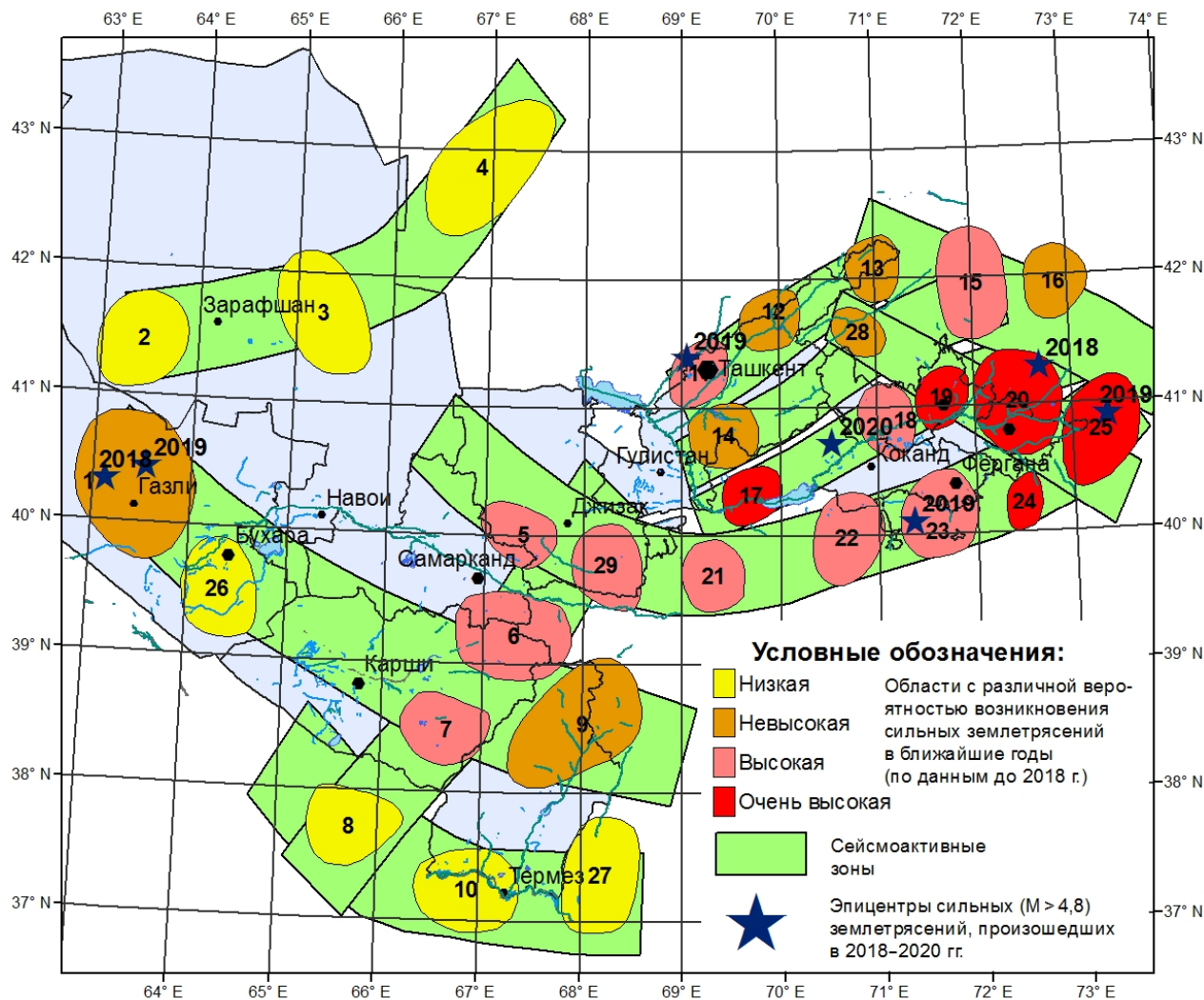


Рисунок 11. – Действующая на территории Республики Узбекистан карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы по комплексу прогностических параметров сейсмического режима

По числу проявившихся аномальных признаков были введены четыре градации для характеристики степени сейсмической опасности каждой очаговой зоны на текущий момент времени:

низкая вероятность возникновения землетрясений в ближайшие годы: до 3 проявившихся прогностических признаков (желтые области на рис. 11);

невысокая вероятность возникновения землетрясений: 4–5 проявившихся прогностических признаков (коричневые области на рис. 11);

высокая вероятность возникновения землетрясений: 6–7 проявившихся прогностических признаков (розовые области на рис. 11);

очень высокая вероятность возникновения землетрясений: 8–11 проявившихся прогностических признаков (красные области на рис. 11).

Как это видно из рисунка 11, на разработанной карте долгосрочного прогноза выделено 5 областей с очень высокой вероятностью возникновения сильного землетрясения и 10 областей с высокой вероятностью возникновения сильного землетрясения. Из этих областей 10 располагаются в Восточном Узбекистане и 4 в Центральном Узбекистане. Анализ параметров сейсмического режима показал, что практически все области концентрации сильных землетрясений с исторических времен, расположенные в пределах Южно-Ферганской и Северо-Ферганской сейсмоактивных зон, на сегодня характеризуются высокой и очень высокой вероятностью в них сильных землетрясений в ближайшие годы. Очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений характеризуются также несколько областей, расположенных в южной части Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны. На рисунке 11 показаны эпицентры сильных землетрясений, которые произошли в период с 1 января 2018 г. по 31 марта 2020 г. Значительная часть этих землетрясений попала в области с высокой и очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений. Два землетрясения попали в Газлийскую очаговую зону, для которой уровень прогнозируемых сейсмических событий, по-видимому, следует повысить, поскольку здесь в 1976 и 1984 гг. были отмечены землетрясения с магнитудой $M \geq 7$ и землетрясения с прогнозируемой магнитудой $M \geq 4,8$ происходят достаточно часто. Одно из землетрясений произошло в 2020 г. в пределах Северо-Ферганской сейсмоактивной зоны вне выделенных областей долгосрочного прогноза.

Заключение

Анализ карты областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы, построенной в 2015 г., показал ее высокую информативность. Практически все сильные (с $M \geq 5$) землетрясения, происшедшие в 2016–2017 гг. на территории Узбекистана и в сопредельных с ним областях, попали в выделенные на данной карте области долгосрочного прогноза с высокой и очень высокой вероятностью возникновения сильных землетрясений.

С учетом меняющейся геодинамической обстановки в регионе в начале 2018 г. была разработана и внедрена в МЧС Республики Узбекистан (следующая после карты, построенной в 2015 г.) карта областей ожидаемой сейсмической активизации на ближайшие годы. На данной карте выявлены области, в которых наблюдались аномалии в различных параметрах сейсмического режима. По количеству проявившихся аномальных признаков области ранжированы по вероятности возникновения в них сильных землетрясений на ближайшие годы. Разработанная карта предназначена для проведения антисейсмических мероприятий на территории Республики Узбекистан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артиков, Т.У. Синоптический долгосрочный прогноз мест ожидаемой сейсмической активизации на территории Узбекистана / Т.У. Артиков [и др.] // Геориск. – 2017. – № 2. – С. 20–28.
2. Артиков, Т.У. Методология синоптического прогноза мест ожидаемой сейсмической активизации на территории Узбекистана / Т.У. Артиков [и др.] // Геология и минеральные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 59–65.
3. Artikov, T.U. Identification of expected seismic activity areas by forecasting complex seismic-mode parameters in Uzbekistan / T.U. Artikov [et al.] // Geodesy and Geodynamics. – 2018. – Vol. 9, Iss. 2. – P. 121–130. DOI: 10.1016/j.geog.2017.11.005.
4. Ризниченко, Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды / Ю.В. Ризниченко. – М.: Наука, 1985. – 408 с.
5. Артиков, Т.У. Взаимосвязь между периодами сейсмической активизации в различных сейсмоактивных зонах / Т.У. Артиков [и др.] // Геология и минеральные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 56–64.
6. Artikov, T.U. Revealing of seismic activation interrelationships in various seismoactive zones / T.U. Artikov [et al.] // Geodesy and Geodynamics. – 2015. – Vol. 6, No. 5. – P. 351–360. DOI: 10.1016/j.geog.2015.03.007.

7. Ибрагимов, Р.Н. Сеймотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования / Р.Н. Ибрагимов, У.А. Нурматов, О.Р. Ибрагимов // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. – Ташкент: Гидроингео, 2002. – С. 59–74.
8. Уломов, В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений / В.И. Уломов. – Ташкент: Фан, 1974. – 218 с.
9. Новый каталог сильных землетрясений СССР с древнейших времен до 1975 года / ред.: Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – 506 с.
10. Rautian, T.G. The problem of determining the energy of earthquakes / T.G. Rautian // Magnitude and energy classification of earthquakes. – Moscow: Institute of Physics of the Earth of the USSR Academy of Sciences, 1974. – Pp. 107–112.
11. Моги, К. Предсказание землетрясений / К. Моги. – М.: Наука, 1988. – 382 с.
12. Федотов, С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе / С.А. Федотов // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 121–150.
13. Артиков, Т.У. Закономерности проявления последовательных сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон Узбекистана / Т.У. Артиков [и др.] // Доклады АН Республики Узбекистан. – 2015. – № 3. – С. 38–40.
14. Артиков, Т.У. Сейсмическая опасность территории Узбекистана / Т.У. Артиков, Р.С. Ибрагимов, Ф.Ф. Зияудинов. – Ташкент: Фан, 2012. – 254 с.
15. Соболев, Г.А. Физика землетрясений и предвестники / Г.А. Соболев, А.В. Пономарев. – М.: Наука, 2003. – 270 с.
16. Завьялов, А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация / А.Д. Завьялов. – М.: Наука, 2006. – 254 с.
17. Ибрагимов, Р.С. Структура сейсмического процесса очаговых зон сильных землетрясений / Р.С. Ибрагимов, Т.У. Артиков // Доклады АН Республики Узбекистан. – 2002. – № 1. – С. 44–49.
18. Artikov, T.U. Compositional change of seismic event sequences in focal zones during preparation of strong earthquakes / T.U. Artikov [et al.] // Geodesy and Geodynamics. – 2014. – Vol. 5, No. 2. – P. 1–8. DOI: 10.3724/SP.J.1246.2014.02001.

Опыт оценки текущей сейсмологической обстановки на территории Узбекистана по комплексу прогностических параметров сейсмического режима

Experience of assessing the current seismological situation on the Uzbekistan territory by the complex of forecast parameters of seismic mode

Артиков Турдали Усманиевич

доктор физико-математических наук,
профессор

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория региональной сейсмичности
и сейсмического районирования,
заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: artikovtu@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8097-9957

Turdali U. Artikov

Grand PhD in Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Regional Seismicity and Seismic Zoning
Laboratory, Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: artikovtu@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8097-9957

Ибрагимов Роман Соломонович

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория региональной сейсмичности
и сейсмического районирования,
ведущий научный сотрудник

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: ibrroma@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-5930-4434

Roman S. Ibragimov

Grand PhD in Physical and Mathematical Sciences,
Senior Researcher

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Regional Seismicity and Seismic Zoning
Laboratory, Leading Researcher

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: ibrroma@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-5930-4434

Ибрагимова Татьяна Людвиговна

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория региональной сейсмичности
и сейсмического районирования,
ведущий научный сотрудник

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: tam.anay@yahoo.com
ORCID: 0000-0003-1714-1304

Tatyana L. Ibragimova

Grand PhD in Physical and Mathematical Sciences,
Senior Researcher

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Regional Seismicity and Seismic Zoning
Laboratory, Leading Researcher

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: tam.anay@yahoo.com
ORCID: 0000-0003-1714-1304

Мирзаев Муроджон Абдурахимджанович

кандидат физико-математических наук

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория региональной сейсмичности
и сейсмического районирования,
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: mumirzaev@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5018-6323

Murodjon A. Mirzaev

PhD in Physical and Mathematical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Regional Seismicity and Seismic Zoning
Laboratory, Senior Researcher

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: mumirzaev@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5018-6323

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.265>

EXPERIENCE OF ASSESSING THE CURRENT SEISMOLOGICAL SITUATION ON THE UZBEKISTAN TERRITORY BY THE COMPLEX OF FORECAST PARAMETERS OF SEISMIC MODE

Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A.

Purpose. The identification of regional patterns of the seismic process and the development of methods for long-term assessment of the seismological situation in Uzbekistan on their basis.

Methods. Prediction of the places of expected seismic activity in Uzbekistan in the coming years is based on the patterns of changes in the prognostic parameters of the seismic regime in the focal zones of strong earthquakes and the peculiarities of the manifestation of the totality of earthquakes within seismically active zones.

Findings. It was established that within the seismically active zones there are areas in which seismic activity at the level of strong earthquakes over the historical period of time was very high. These areas are considered potentially hazardous to earthquakes in the future. According to the number of anomalous signs that have appeared at the current time in various prognostic parameters of the seismic regime, the regions are ranked by the probability of the occurrence of strong earthquakes in the coming years.

Application field of research. The results of the studies are necessary for the development of anti-seismic measures in the Republic of Uzbekistan.

Keywords: long-term earthquake forecast, seismic parameters, seismic activity, seismic gap.

(The date of submitting: May 21, 2020)

REFERENCES

1. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Sinopticheskiy dolgosrochnyy prognoz mest ozhidayemoy seysmicheskoy aktivizatsii na territorii Uzbekistana [Synoptic long-term forecast of expecting seismic activity places in Uzbekistan]. *Georisk*, 2017. No. 2. Pp. 20–28. (rus)
2. Artikov T.U., Ibragimov R. S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Metodologiya sinopticheskogo prognoza mest ozhidayemoy seysmicheskoy aktivizatsii na territorii Uzbekistana [The methodology of the synoptic forecast of expecting seismic activity places on the territory of Uzbekistan]. *Geology and mineral resources*, 2017. No. 2. Pp. 59–65. (rus)
3. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Identification of expected seismic activity areas by forecasting complex seismic-mode parameters in Uzbekistan. *Geodesy and Geodynamics*, 2018. Vol. 9. Iss. 2. Pp. 121–130. DOI: 10.1016/j.geog.2017.11.005.
4. Riznichenko Yu.V. *Problemy seysmologii. Izbrannyye trudy* [The problems of seismology. Selected Works]. Moscow: Nauka, 1985. 408 p. (rus)
5. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Vzaimosvyaz' mezhdu periodami seysmicheskoy aktivizatsii v razlichnykh seysmoaktivnykh zonakh [Interrelation of periods of seismic activation in various seismic active zones]. *Geology and mineral resources*, 2015. No. 1. Pp. 56–64. (rus)
6. Artikov T.U., Ibragimov R. S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Artikov M.T. Revealing of seismic activation interrelationships in various seismoactive zones. *Geodesy and Geodynamics*, 2015. Vol. 6, No. 5. Pp. 351–360. DOI: 10.1016/j.geog.2015.03.007.
7. Ibragimov R.N., Nurmatov U.O., Ibragimov O.R. Seysmotektonicheskiy metod otsenki seysmicheskoy opasnosti i voprosy seysmicheskogo rayonirovaniya. [Seismotectonic method for assessing seismic hazard and issues of seismic zoning]. *Seismic zoning and earthquake forecast in Uzbekistan*. Tashkent: Hydrogeo, 2002. Pp. 59–74. (rus)
8. Ulomov V.I. *Dinamika zemnoy kory Sredney Azii i prognoz zemletryaseniy* [The dynamics of the earth's crust of Central Asia and the forecast of earthquakes]. Tashkent: Fan, 1974. 218 p. (rus)
9. *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy SSSR s drevnejshikh vremen do 1975 goda* [A new catalog of strong earthquakes of the USSR from ancient times to 1975]; ed. by Kondorskaya N.V., Shebalin N.V. Moscow: Nauka, 1977. 506 p. (rus)
10. Rautian T.G. The problem of determining the energy of earthquakes. *Magnitude and energy classification of earthquakes*. Moscow: Institute of Physics of the Earth of the USSR Academy of Sciences, 1974. Pp. 107–112.
11. Mogi K. *Predskazaniye zemletryaseniy* [Earthquake prediction]. Moscow: Nauka. 1988. 382 p.

12. Fedotov S.A. O seymicheskom tsikle, vozmozhnosti kolichestvennogo seymicheskogo rayonirovaniya i dolgosrochnom seymicheskom prognoze [About the seismic cycle, the possibility of quantitative seismic zoning and long-term seismic forecast]. *Seismic zoning of the USSR*. Moscow: Nauka, 1968. Pp. 121–150. (rus)
13. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Zakonomernosti proyavleniya posledovatel'nykh sil'nykh zemletryaseniy v predelakh seismoaktivnykh zon Uzbekistana [Rules of occurrence consistent strong earthquakes within the seismically active zones of Uzbekistan]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Uzbekistan*, 2015. No. 3. Pp. 38–40. (rus)
14. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ziyaudinov F.F. *Seymicheskaya opasnost' territorii Uzbekistana* [Seismic hazard of the territory of Uzbekistan]. Tashkent: Fan, 2012. 254 p. (rus)
15. Sobolev G.A., Ponomarev A.V. *Fizika zemletryaseny i predvestniki* [Earthquake physics and harbingers]. Moscow: Nauka, 2003. 270 p. (rus)
16. Zav'yalov A.D. *Srednesrochnyy prognoz zemletryaseny: osnovy, metodika, realizatsiya* [Mid-term earthquake forecast: fundamentals, methods, implementation]. Moscow: Nauka, 2006. 254 p. (rus)
17. Ibragimov R.S., Artikov T.U. Struktura seymicheskogo protsessa ochagovykh zon sil'nykh zemletryaseniy [The structure of the seismic process of focal zones of strong earthquakes]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Uzbekistan*, 2002. No. 1. Pp. 44–49. (rus)
18. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Artikov M.T. Compositional change of seismic event sequences in focal zones during preparation of strong earthquakes. *Geodesy and Geodynamics*, 2014. Vol. 5, No. 2. Pp. 1–8. DOI: 10.3724/SP.J.1246.2014.02001.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.280>

УДК 550.34.03

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ О СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ РЕДКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Ибрагимов А.Х.

Цель. Разработка системы раннего оповещения о сильных землетрясениях в условиях редкой сети сейсмических станций.

Методы. Исследования проводятся в трех направлениях – оперативная автоматическая генерация карт изосейст после события, создание акселерометров с возможностью отправки данных на центральный сервер с последующим расчетом ожидаемой интенсивности колебаний и времени ожидания события и разработка прибора, непрерывно рассчитывающего спектр колебаний по вертикальной компоненте и подающего сигнал при поступлении волны с периодом больше 2 с и величиной ускорений определенной величины.

Результаты. Получены зависимости величины землетрясения от периода P -волны и пиковой амплитуды смещения грунта. Создана система автоматического построения карт изосейст сильных событий, запущен сервер сбора данных от удаленных станций, отправляющий предупреждение об ожидаемом землетрясении посредством telegram-bot.

Область применения исследований. Полученные результаты дают возможность реализовать систему предупреждения о сильных землетрясениях, которая может быть использована в МЧС для оперативной оценки ситуации, защиты особо важных объектов (плотин крупных водохранилищ, атомных электростанций и т. д.).

Ключевые слова: землетрясение, раннее оповещение, период, скорость смещения грунтов, ускорение.

(Поступила в редакцию 21 мая 2020 г.)

Введение

К настоящему времени системы раннего оповещения о возникновении сильного землетрясения эффективно используются в Японии, Тайване, Мексике, тестируются в США, Греции, Румынии, Турции (в рамках проекта REAKT и SAFER). В Центральной Азии была начата разработка прототипа системы оповещения на основе SOSEWIN (GFZ), но пока информация о результатах не опубликована.

Алгоритмы работы подобных систем детально описаны в работах сейсмологов США, Японии и Италии [1].

В рамках Государственной программы по уменьшению ущерба от стихийных бедствий в Узбекистане разрабатывается прототип системы экстренного оповещения о сильных землетрясениях.

Основная часть

Принцип действия системы раннего оповещения о землетрясениях (СРОЗ)

Принцип действия СРОЗ основан на следующем. Очаг события генерирует три типа волн: продольные (P), поперечные (S) и поверхностные (волны Лява, L и Релея, R). По параметрам P -волны система определяет магнитуду землетрясения и рассчитывает интенсивность создаваемых S - и LR -волнами сейсмических воздействий на защищаемой территории.

Алгоритмы работы СРОЗ

1. **ElarmS** – определяет энергию, излучаемую очагом землетрясения. Используется спектр P -волны по данным нескольких станций. По эмпирической модели затухания энергии с расстоянием оценивается интенсивность на сотрясаемой площади. Методология позволяет

генерировать сигнал тревоги до прихода S - и LR -волн. Метод требует применения данных не менее 4 станций [1]. Применение алгоритма ElarmS с учетом задержки потока данных при его передаче в центр обработки, для эпицентральных расстояний менее 125 км нецелесообразно, т. к. тревога будет генерироваться одновременно с приходом поперечных и поверхностных сейсмических волн.

2. **Virtual Seismologist (VS method)** – метод «Виртуальный сейсмолог» [3] использует огибающие ускорения, скорости и смещения грунта в качестве входных данных в систему многофакторного вероятностного комплексного анализа, реализующую байесовский подход к раннему предупреждению о землетрясениях. Здесь применяется множество параметров, таких как топология сети, текущая сейсмическая активность, модель вспарывания в очаге и др. В основу метода входит робастный анализ параметрических данных.

3. **Onsite method** – τ_c - P_d алгоритм [2], основанный на определении магнитуды землетрясения по периоду τ_c и пиковой амплитуде смещения грунта P_d первого вступления P -волны. Этот алгоритм позволяет быстро определять магнитуду событий, однако менее точен в сравнении с алгоритмами определения параметров событий по данным ряда станций.

Сеть сейсмического мониторинга территории Узбекистана включает 40 стационарных пунктов регистрации, из них 16 станций в режиме онлайн, т. е. остальные пункты для реализации системы раннего оповещения неприменимы. Еще одна проблема – станции, расположенные вблизи очаговых зон, как правило, размещены в горной местности и, соответственно, не обеспечены возможностью передачи данных в режиме реального времени.

Изучение конфигурации национальной сети сейсмического мониторинга показало неэффективность применения методов ElarmS и Virtual Seismologist, требующих использования данных четырех и более сейсмостанций. С учетом длительности пакетов данных SeedLink (протокол сейсмологических данных) – 8 с, использование описанных выше алгоритмов нецелесообразно. На рисунке 1 приведена диаграмма времени предупреждения с применением различных алгоритмов.

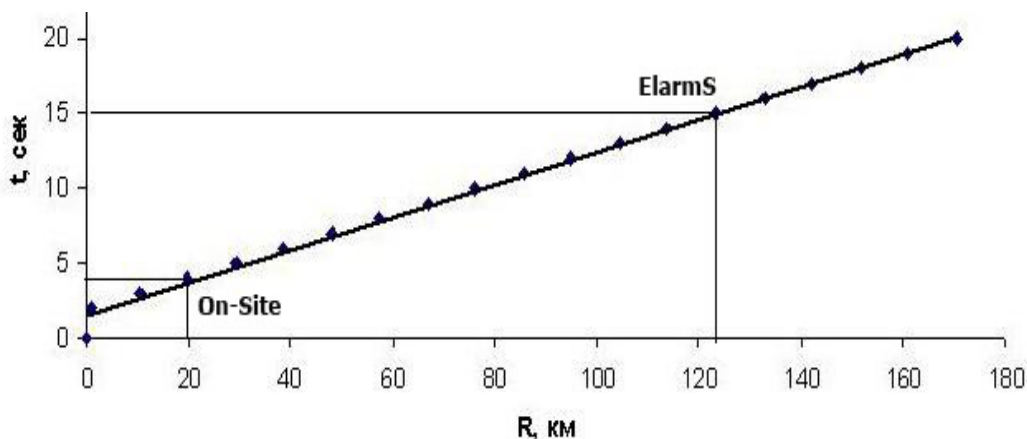


Рисунок 1. – Время определения магнитуды события с использованием On-Site и ElarmS

Направления исследований

Исследования проводятся в трех направлениях. Первое направление – разработка программного обеспечения, автоматически захватывающего информацию о последнем сильном землетрясении (парсинг координат, магнитуды и глубины) от системы автолокации Earthworm [4] и генерирующего карту изосейст. Система Earthworm запущена в апреле 2018 г., и в нее внесен усредненный региональный годограф. Программа IntMap зарегистрирована в Агентстве по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистана (свидетельство № DGU 07095 от 12 сентября 2019 г.).

В течение 2–3 минут производится определение параметров сейсмического события и выводится карта изосейст на территории Республики Узбекистан на Google Map.

На рисунке 2 представлен интерфейс парсера и программы IntMap v3.0.

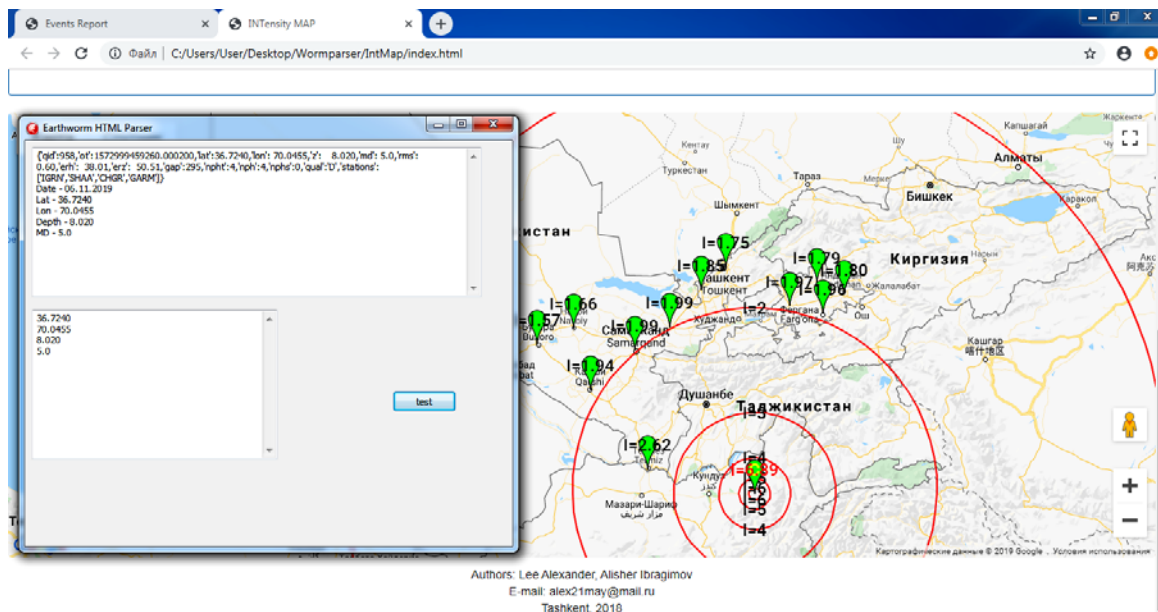


Рисунок 2. – Интерфейс программы IntMap v3.0

Второе направление – разработка бюджетного акселерографа на базе микроконтроллера ARDUINO UNO-3 и цифрового MEMS-акселерометра ADXL-345. К настоящему времени прибор изготовлен и проводится тестирование его устойчивой работы. Он оснащен Ethernet-адаптером для подключения к сети. Исходя из возможности оперативной передачи данных предложена следующая топология системы оповещения: выбирается станция, работающая в онлайн-режиме, максимально близко расположенная к очаговой зоне. Акселерометр, установленный в пункте регистрации, отправляет пиковые значения ускорений при приходе сейсмического события на сервер сбора данных. В 2020 г. планируется несколько приборов установить на сейсмических станциях, расположенных вблизи очаговых зон (ст. «Фергана» – 35 км от Южно-Ферганского разлома (рис. 3), Канское землетрясение 2011 г. с $M=6,1$; ст. «Китаб» – в 18 км от события 2016 г. с $M=5,0$; ст. «Байсун» – в 150 км от очага Каратагского события с $M=7,1$).



Рисунок 3. – Сейсмические лучи от зоны возможного очага землетрясения и ст. «Фергана»: от Южно-Ферганского разлома S-волны приходят в Ташкент за 71 с, от ст. «Фергана» – за 66 с; от очага до ст. «Фергана» S-волны волны приходят за 8 с. Время ожидания в Ташкенте составляет 58 с

Подключенные к каналу связи приборы при срабатывании триггера по величине ускорений отправляют на сервер их значение. Программа на сервере при поступлении информации от удаленной станции по значению ускорений рассчитывает величину интенсивности в Ташкенте (в данном случае – защищаемый объект) и время ожидания прихода сильных колебаний. Для оперативного информирования разработан telegram-bot, отправляющий информацию подобного вида:

2020-05-13 18:59:16 – Событие на датчике DZI (Джизак).
Интенсивность в Ташкенте 3,5.
Время прихода в Ташкент 48,6 с.

Третье направление – разработка программного комплекса и прибора для непрерывного FFT-анализа в режиме реального времени для оценки параметров ожидаемых сильных событий по периоду и амплитуде ускорений, поступающих с MEMS-акселерометра. Система работает по принципу прибора P-alert, разработанного в Тайване [6], но использует другие алгоритмы. В данном случае вычислительных ресурсов микроконтроллера недостаточно, и необходимо использовать компьютер. Принцип действия следующий. На долю поперечных и поверхностных волн обычно приходится до 80 % энергии землетрясения, т.е. ими вызываются наибольшие колебания. Скорость распространения *P*-волны в зависимости от свойств геологической среды варьируется в пределах 6–8 км/с. Скорость же *S*- и *LR*-волн не превышает 3,5 км/с. При эпицентральной расстоянии 100 км разница во времени прихода продольных и других волн составляет 12,6 с; при 200 км – 23,2 с; при 300 км – 33 с.

При определении магнитуды землетрясения по параметрам *P*-волны за 3–5 с появляется возможность предупреждения о приходе сильных колебаний от землетрясения. Был проведен анализ 1500 сейсмограмм событий с магнитудой 6–9, полученных из BUD IRIS (унифицированная база волновых форм IRIS). Проведенные исследования позволили получить следующие зависимости. Магнитуда по смещению определяется по формуле:

$$M_w = 5,07 + 1,24 \ln(k_p P_d) + 1,65 \ln(k_R R_\varepsilon), \quad (1)$$

где M_w – магнитуда по шкале Канамори; P_d – пиковая амплитуда смещения грунта, мм; R_ε – эпицентральной расстояние, км; коэффициенты $k_p = 1 \text{ мм}^{-1}$, $k_R = 1 \text{ км}^{-1}$.

Магнитуда по преобладающему периоду *P*-волны вычисляется по формуле:

$$M_w = 5,22 + 6,66 \ln(k_t t_p), \quad (2)$$

где t_p – период *P*-волны, с; коэффициент $k_t = 1 \text{ с}^{-1}$.

Возникает вопрос: что дает 20–60 с оповещения об ожидаемом землетрясении? Согласно результатам научных исследований, предупреждение о землетрясении за 3 с до его начала позволяет сократить 14 % несчастных случаев, за 10 с – 39 %, 20 с – 63 % человеческих жертв и травм [5].

Заключение

Приведенные результаты дают возможность реализовать систему оповещения о сильных землетрясениях в различных решениях:

1. Оповещение о приходе колебаний на защищаемую территорию с указанием ожидаемой интенсивности в баллах по шкале EMS-98 и времени начала сейсмических воздействий.
2. Оповещение о возникновении землетрясения с большой магнитудой ($M > 5$).
3. Оперативная генерация карт изосейст после прихода сейсмических волн от сильных землетрясений.

4. Реализация алгоритмов ElarmS или Virtual Seismologist возможна при применении протокола передачи данных UDP (без проверки полноты отправленной информации) или по протоколу GDI, разработанному в компании Guralp, который, по заявлению разработчиков, в 25 раз быстрее протокола SeedLink. В этом случае необходимо использование отдельных сейсмических станций со своими каналами передачи данных.

Работа выполнена в рамках гранта Министерства инновационного развития Республики Узбекистан № ПЗ-20170921217.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allen, R.M. The status of earthquake early warning around the world: an introductory overview / Richard M. Allen, Paolo Gasparini, Osamu Kamigaichi and Maren Böse // *Seismological Research Letters*, September/October 2009. – Vol. 80, No. 5. – Pp. 682–693. DOI: 10.1785/gssrl.80.5.682.
2. Kanamori, H. Real-time seismology and earthquake damage mitigation / Hiroo Kanamori // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2005. – Vol. 33. – Pp. 195–214. DOI: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122626.
3. Wurman, G. Earthquake Early Warning and the Physics of Earthquake Rupture / A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. – University of California, Berkeley. – 2010. – 97 p.
4. Earthworm Central [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.earthwormcentral.org/>. – Date of access: 17.05.2020.
5. Wu, YM. et al. Earthquake Early Warning System in Taiwan // *Encyclopedia of Earthquake Engineering*; ed. by M. Beer, I. Kougioumtzoglou, E. Patelli, I. Au. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-36197-5_99-1.
6. Earthquake Early Warning System Palert [Electronic resource]: Jenlogix Industrial Technology Partner. – Mode of access: <https://www.earthquakeearlywarning.systems/palert.html>. – Date of access: 17.05.2020.

**Оценка эффективности системы раннего оповещения о сильных землетрясениях
в условиях редкой сети сейсмических станций**

**Assessment of the effectiveness of the early warning system for severe earthquakes
in a rare network of seismic stations**

Ибрагимов Алишер Хайдарович

кандидат физико-математических наук

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория экспериментальной
сейсмологии, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: alisher1957@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7190-0116

Alisher Kh. Ibragimov

PhD in Physical and Mathematical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Laboratory of Experimental Seismology,
Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: alisher1957@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7190-0116

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.280>

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE EARLY WARNING SYSTEM FOR SEVERE EARTHQUAKES IN A RARE NETWORK OF SEISMIC STATIONS

Ibragimov A.Kh.

Purpose. Development of an early warning system for strong earthquakes in a rare network of seismic stations.

Methods. Research is carried out in three directions: operational automatic generation of isoseist maps after the event, creation of accelerometers with the ability to send data to a central server with subsequent calculation of the expected intensity of the oscillations and the waiting time of the event, and the development of a device that continuously calculates the oscillation spectrum from the vertical component and gives a signal upon receiving a wave with a period of more than 2 s and the magnitude of the accelerations of a certain value.

Findings. The dependences of the magnitude of the earthquake on the period of the P-wave and the peak amplitude of the displacement of the soil are obtained. A system for automatically constructing maps of isoseist strong events has been created, a server has been launched to collect data from remote stations, which sends a warning about an expected earthquake via telegram-bot.

Application field of research. The results obtained make it possible to implement a warning system about strong earthquakes, which can be used in the Ministry for Emergencies to assess the situation, protect critical facilities (dams of large reservoirs, nuclear power plants, etc.) quickly.

Keywords: earthquake, early warning, period, soil displacement rate, acceleration.

(The date of submitting: May 21, 2020)

REFERENCES

1. Richard M. Allen, Gasparini P., Kamigaichi O., Böse M. The status of earthquake early warning around the world: an introductory overview. *Seismological Research Letters*, September/October 2009. Vol. 80, No. 5. Pp. 682–693. DOI: 10.1785/gssrl.80.5.682.
2. Kanamori Hiroo. Real-time seismology and earthquake damage mitigation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2005. Vol. 33. Pp. 195–214. DOI: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122626.
3. Wurman G. *Earthquake Early Warning and the Physics of Earthquake Rupture*. A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. University of California, Berkeley. 2010. 97 p.
4. *Earthworm Central*, available at: <http://www.earthwormcentral.org/> (accessed: May 17, 2020).
5. Wu YM., Hsiao NC., Chin TL., Chen DY., Chan YT., Wang KS. Earthquake Early Warning System in Taiwan. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*; ed. by Beer M., Kougiumtzoglou I., Patelli E., Au IK. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-36197-5_99-1.
6. Earthquake Early Warning System Palert. *Jenlogix Industrial Technology Partner*, available at: <https://www.earthquakeearlywarning.systems/palert.html> (accessed: May 17, 2020).

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.287>

УДК 551.3:550.3 (575.1)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПЛОТИНЕ И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Хамидов Х.Л., Ибрагимов А.Х., Хамидов Л.А.

Цель. Совершенствование системы мониторинга сейсмичности и реализация новой цифровой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений с современной базой обработки сейсмометрической информации на гидротехнических сооружениях Узбекистана.

Методы. Внедрение цифровой регистрации волн для целей оценки колебаний плотины и береговой части Чарвакского водохранилища.

Результаты. Определены частоты и скорости колебаний тела плотины и береговых склонов в автоматическом режиме без вмешательства операторов. Рассчитаны отношения амплитуд скорости колебания в измерительных пунктах к амплитудам скорости колебания основания плотины или береговых склонов Чарвакского водохранилища. При регистрации разных землетрясений в разных точках эти отношения значительно изменяются в зависимости от азимута прихода волн. Грунты водохранилища категорированы по сейсмическим свойствам.

Область применения исследований. Полученные данные экспериментальных исследований могут быть использованы при оценке условий колебаний высоких плотин Чарвакского водохранилища при сильных землетрясениях.

Ключевые слова: водохранилище, сейсмический мониторинг, землетрясение, спектр, магнитуда.

(Поступила в редакцию 21 мая 2020 г.)

Введение

Совершенствование системы мониторинга сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана, исследования влияния техногенных факторов от строительства водохранилищ требует выполнения большого объема наблюдений. Например, вокруг объекта необходимо разбить сеть сейсмических станций (хотя бы временных) для возможности регистрации местных землетрясений [1; 2; 3]. Для оценки устойчивости при эксплуатации таких сооружений в фоне естественных и техногенных сейсмических процессов необходимо получить более глубокие научные знания о механизмах колебания горных массивов в зонах водохранилищ [3]. Без создания современных цифровых систем наблюдения достичь этого практически невозможно. Поэтому стало актуальным совершенствование системы мониторинга сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана и реализация новой цифровой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений с современной базой обработки сейсмометрической информации на гидротехнических сооружениях Узбекистана.

Основная часть

Географически Чарвакское водохранилище находится в Ташкентском вилояте Восточного Узбекистана на территории Бостанлыкского района. Оно расположено в начале реки Чирчик, несколько ниже по течению места слияния рек Пскем и Чаткал, между отрогами Угамского и Чаткальского хребтов западного Тянь-Шаня. Водоохранилище образовано каменно-насыпной плотиной высотой 168 м. Основание водохранилища пересекают ряд сейсмоактивных разломов, такие как Пскомский, Кумбельский и Каржантауский. В этой зоне происходили сильные землетрясения с $M \geq 5$: Бричмуллинское (1956), Ташкентское (1966),

Денапское (1974), Таваксайское (1977), Назарбекское (1980), Ташкентское (2008). Водохранилище Чарвак находится в зоне 8–9-балльной сейсмичности по шкале MSK-64 [1; 3].

Инженерно-сейсмологическая обстановка береговых склонов и плотины Чарвакского водохранилища в период с 1976 по 1998 г. контролировалась путем организации и проведения инженерно-сейсмометрических наблюдений на участке ближе к линии створа плотины [2; 4].

В этот период обработка материалов записи землетрясений на плотине Чарвак проводилась с большими разрывами во времени. В ряде случаев это, видимо, было результатом уменьшения финансирования этих исследований. Это привело к оттоку кадров и резкому сокращению объемов обрабатываемых данных.

Другой наиболее характерной причиной неустойчивой работы системы является моральное старение комплекса оборудования, в котором большими трудозатратами оцифровывались записи скоростей колебаний для тела плотины. На выходе устаревшей системы сейсмоприемник – гальванометр – регистратор на фотобумаге имели информацию только о картине волновых форм. Аналоговые сейсмограммы оцифровывались отдельно. Далее вся база оцифрованных данных записывалась на носители и в вычислительном центре Министерства геологии в Ташкенте обрабатывалась с помощью специальных программ. Это требовало больших трудовых и финансовых затрат.

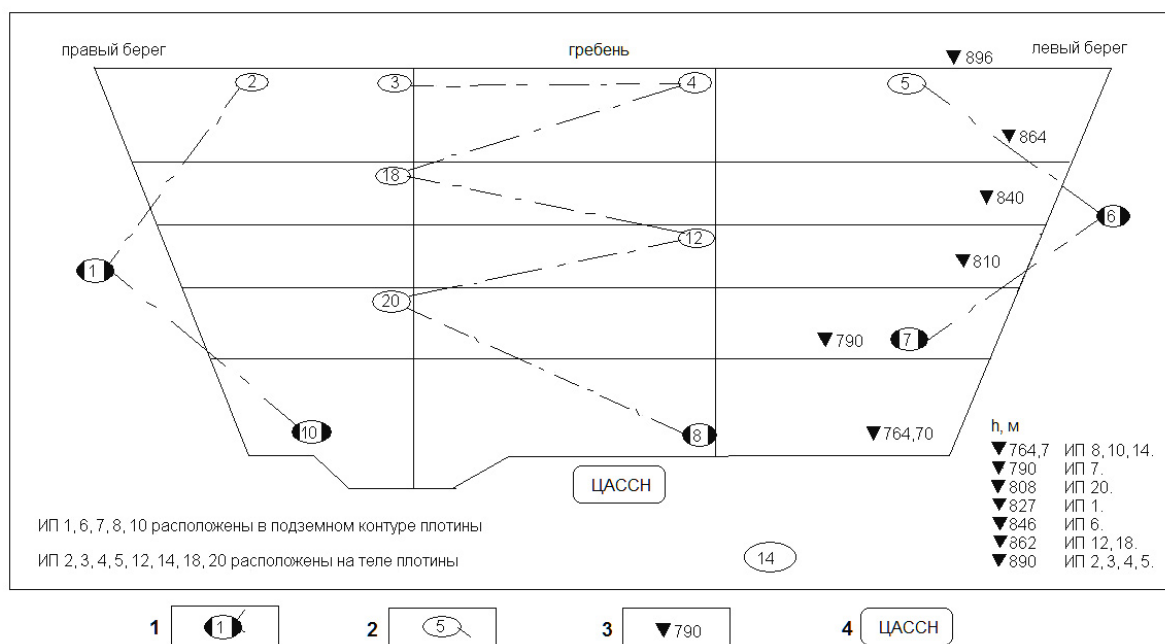
С 2006 г. было начато совершенствование системы наблюдений на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища. Эта было началом модернизации системы инженерно-сейсмологических исследований в зонах крупных водохранилищ Узбекистана. Отличительной чертой этой системы от предыдущих была возможность обеспечения оперативности обработки сейсмометрических данных, записанных при землетрясениях прямо на объекте [4; 5]. Она улучшила оперативность и временную точность цифровой регистрации сейсмических волн. Вся сейсмическая информация, записанная при землетрясении, без вмешательства операторов, непосредственно поступала в память компьютера в едином цифровом формате, автоматически выполнялась оценка магнитуды зарегистрированного землетрясения и расчет эпицентрального расстояния.

Объем Чарвакского водохранилища при максимальном заполнении составляет около 2 км³. Плотина имеет длину более 800 м. В теле плотины установлены 20 измерительных точек цифровой регистрации (по три сейсмометра каждая). Инженерно-сейсмометрические оценки по временной схеме представлены цифровыми записями в 20 измерительных пунктах [6] (рис. 1).

Измерительные пункты оборудованы высокочувствительными сейсмографами для записи местных и близких землетрясений с увеличением каналов в зависимости от фона помех 1-го рода от 10 000. Диапазон периодов полосы пропускания 0,2–2 с, амплитудно-частотные характеристики каналов соответствуют главной части спектра сейсмических волн слабых близких и местных землетрясений [5; 6].

Из них 12 измерительных пунктов, расположенных на бортах и в основании плотины, остались в прежнем положении [3; 6]. Чувствительность регистрационных каналов сейсмостанции в ждущем режиме установлена для записи скорости слабых колебаний грунта от 1 до 5 баллов и для более сильных – от 5 до 9 баллов. В качестве сейсмоприемников применялись СМ-3. На сейсмограммах определялись максимальные амплитуды скорости колебаний – V_i^{max} (мм/с) и соответствующие им периоды колебаний, длительность колебаний [5]. Произведен также расчет относительного изменения интенсивности колебаний $\delta_i = V_i^{max} / V_8^{max}$, где i – номер измерительного пункта, V_8^{max} – амплитуда скорости колебаний у основания плотины. Определение сейсмических свойств мелкообломочных и крупнообломочных массивов в зоне плотины Чарвак как экспериментального материала при разных нагрузках и объемах воды выполнялось несколькими методами [7; 8]: запись слабых далеких землетрясений, изучение спектральных характеристик грунтов, анализ микросейсм и метод

Накамура (HVSР) [7]. Для обработки данных использовались программы JSESAME и GEOPSY. Метод регистрации землетрясений малых энергий использован для количественной оценки относительных изменений сейсмической интенсивности на участках с разными физико-механическими свойствами крупнообломочных массивов.



1, 2 – измерительные пункты, оборудованные 3-компонентными сейсмометрами; 3 – изометрическая высота; 4 – центр обработки автоматизированной системы сейсмометрических наблюдений объекта
Рисунок 1. – Схема расположения пунктов регистрации на плотине Чарвакского водохранилища

Обработка сигналов, поступающих от измерительных пунктов по всем каналам и компонентам, проводилась на центральном диспетчерском пункте управления Чарвакского водохранилища. В период совершенствования произведена установка многоканальной системы регистрации сейсмических сигналов на основе серийно выпускаемых 16-разрядных 8-канальных автоматических цифровых преобразователей (АЦП) с предварительными усилителями и наборами фильтров производства WEBTRONICS (США). Система состоит из 6 комплектов 8-канальных WEBTRONICS, подключаемых к компьютеру МЕС-5002 с шестью СОМ-портами. На регистрирующем компьютере одновременно запускаются 6 исполняемых файлов программы регистрации, причем для каждой запускаемой программы присваиваются свои (уникальные) каналы регистрации. Суммарное количество каналов – 48 (с возможностью дальнейшего расширения сети датчиков). С помощью GPS-приемника первого АЦП WEBTRONICS производится синхронизация внутреннего таймера регистрирующего компьютера. Поток данных с остальных пяти АЦП привязывается таймеру РС. Непрерывные данные и событийные файлы прописывались в специальные разделы по группам сейсмометров. На рисунке 2 показана упрощенная блок-схема АЦП WEBTRONICS, на рисунке 3 представлена блок-схема системы регистрации сейсмических колебаний.

Каждая система WEBTRONICS состоит: из 8-канального предварительного усилителя с возможностью переключения коэффициента усиления от 1 до 200 с шагом 50; 8-канального полосового фильтра высоких и низких частот; коммутатора, совмещенного с АЦП; GPS-приемника со внешней антенной; СОМ-порта; импульсного блока питания; соединительного кабеля СОМ-СОМ. Для обработки данных необходим отдельный компьютер.

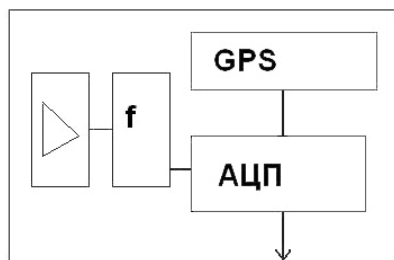


Рисунок 2. – Упрощенная блок-схема АЦП WEBTRONICS

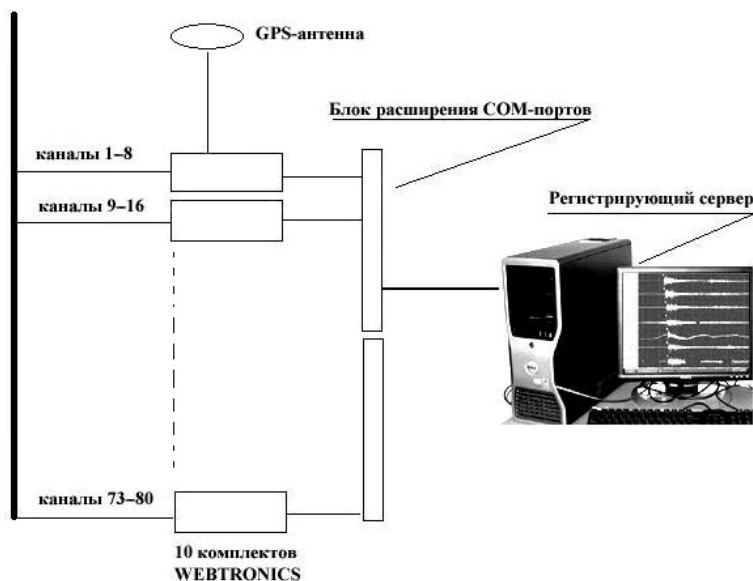


Рисунок 3. – Блок-схема системы регистрации сейсмических колебаний

В качестве примера результатов измерений в таблице 1 показаны значения частот колебаний f_0 и отношение максимальных амплитуд скоростей колебания в разных измерительных пунктах (ИП) тела плотины к максимальным амplitудам скорости колебания ИП 8, находящегося на основании плотины, при Туябугузском землетрясении 25 мая 2013 г. (магнитуда $M = 5,1$; расстояние до очага землетрясения $R = 75$ км). Это самое сильное землетрясение, происходившее в радиусе $R \leq 100$ км от створа Чарвакского водохранилища.

Таблица 1. – Изменение сейсмометрических показателей плотины Чарвакского водохранилища, зарегистрированных при Туябугузском землетрясении (25 мая 2013 г. в 22:18:33.7; $M = 5,1$; $R = 75$ км) в ИП 4, 8, 14 и 19.

Сейсмометрический показатель	ИП 8			ИП 4		
	Z*	E	Z	E	N	N ₁
Максимальная амплитуда скорости колебаний V_i^{\max} , мм/с	12 400	13 050	25 320	28 910	26 340	28 910
Частота колебаний f_0 , Гц	0,896	0,772	1,122	2,788	1,407	2,788
Относительное изменение интенсивности колебаний $\delta_i = V_i^{\max} / V_8^{\max}$	1	1	1	2,33	2,02	2,33

Примечание. Z – вертикальная компонента, E – восток-запад, N – север-юг.

Продолжение таблицы 1

Сейсмометрический показатель	ИП 14			ИП 19		
	Z	E	N	Z	E	N
Максимальная амплитуда скорости колебаний V_i^{\max} , мм/с	–	25 650	21 080	31 170	38 650	22 000
Частота колебаний f_0 , Гц	–	0,891	2,731	4,783	6,494	6,978
Относительное изменение интенсивности колебаний $\delta_i = V_i^{\max} / V_8^{\max}$	–	1,97	0,83	2,51	2,96	0,87

Динамические параметры колебаний в пунктах наблюдений определялись по записям, полученным сейсмостанциями, работающими в ждущем режиме (ИП 1, 2, 3, ... 14). Производилась автоматическая разметка записей землетрясений на сейсмограммах с длиной обрабатываемой части, соответствующей периоду с момента прихода волн с максимальной

амплитудой скорости колебаний до фазы, где амплитуда скорости колебаний уменьшается до 1/3–1/5 от максимального значения.

В большинстве случаев обрабатываемая часть сейсмограмм составляет от 3 до 7, редко до 10 с. В ИП 4 регистрация волн велась в непрерывном режиме. Все сеймостанции работали в цифровом режиме регистрации сейсмических событий. В специализированной программной среде WinQuake определялся азимут на эпицентр путем измерения знаков и значений амплитуд скорости колебаний Р-волн.

Тело плотины Чарвакского водохранилища достаточно анизотропно и имеет различную жесткость вдоль и поперек конструкции, поэтому реакция на сейсмические воздействия зависит от направления прихода волн из очага землетрясения. В зависимости от азимута прихода волн меняется и отклик тела плотины. Поскольку плотина Чарвакского водохранилища имеет протяженную конструкцию, в основном изменения реакции плотины можно наблюдать, построив спектры скоростей колебаний. Расчет отношения амплитуд скорости колебания в измерительных пунктах к амплитудам скорости колебания основания плотины или береговых склонов Чарвакского водохранилища показал, что при регистрации разных землетрясений в разных точках они сильно изменяются в зависимости от азимута прихода волн.

На рисунке 4 показан спектр колебаний на ИП 8 при землетрясении 25.05.2013 22:18, магнитуда 5,1.

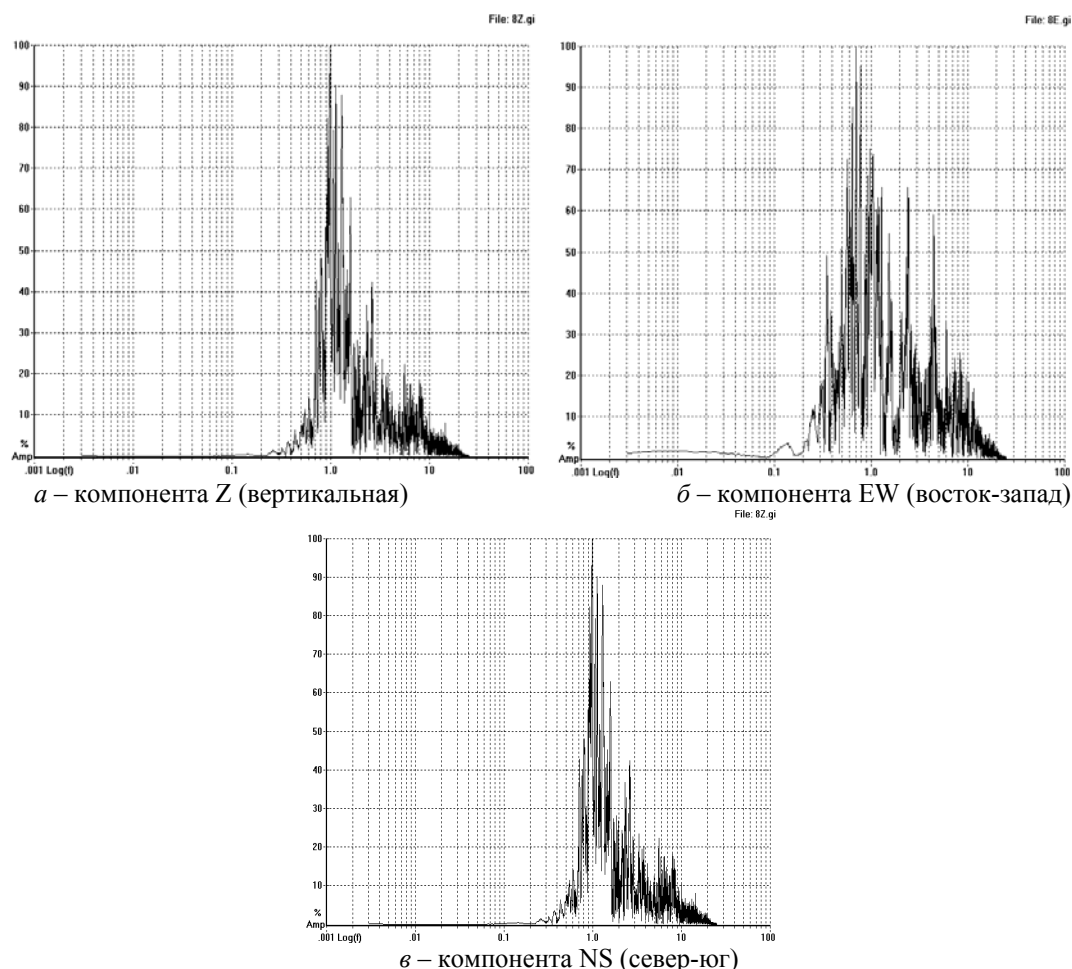


Рисунок 4. – Спектр колебаний на ИП 8 при землетрясении 25.05.2013 22:18, магнитуда 5,1

Выявлено, что на гребне плотины спектр сейсмических колебаний содержит высокочастотные компоненты, связанные с резонансными явлениями, и значения скоростей смещений на гребне плотины по сравнению со скоростями смещений основания плотин больше

в 12–15 раз при слабых землетрясениях. При сильных сейсмических воздействиях это отношение не превышает 3,0. Спектр колебаний тела плотины зависит от расстояния до очага землетрясения. От удаленных землетрясений доходят в основном низкочастотные колебания. Поэтому созданная на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища возможность автоматического выделения высокочастотных гармоник колебаний от далеких землетрясений важна для оперативного определения реакции тела плотины при чрезвычайных ситуациях, возникающих от воздействия сейсмических нагрузок.

Грунты в каньонной части, под ядром плотины водохранилища и в правобережной части береговых склонов могут быть отнесены к грунтам I категории по сейсмическим свойствам. Для них интенсивность сейсмических воздействий по установленным в Республики Узбекистан нормам не превышает 8 баллов¹. Галечники под плотиной на левобережной поверхности Ходжикентской террасы отнесены к грунтам II категории по сейсмическим свойствам. Известняки левого берегового склона водохранилища в верхней части примыкания плотины, тоже отнесены к грунтам II категории по сейсмическим свойствам. Для них интенсивность сейсмических воздействий составляет 9 баллов².

Карты, построенные нами по распределению землетрясений в период исследований для данного района, указывают на устойчивую повышенность сейсмической активности зоны Чарвакского водохранилища [6; 9]. Определено значение углового коэффициента графика повторяемости $\gamma = 0,53 \pm 0,08$, являющегося энергетической характеристикой землетрясений, что близко к γ для Восточного Узбекистана. Величина сейсмической активности $A_{10} = 0,07$ при этом получилась близкой к средним значениям сейсмической активности для всей площади исследования [9].

Заключение

Усовершенствование системы мониторинга сейсмичности и реализация цифровой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища позволили обеспечить оперативный контроль над колебанием плотины при сейсмических нагрузках.

Анализ результатов измерений сейсмометрических показателей при Туябугузском землетрясении показал, что значение отношения амплитуд скорости колебания в измерительных пунктах на теле плотины к амплитудам скорости колебания измеренных на ее основании сильно изменяется в зависимости от азимута прихода волн.

Выявлено, что по сейсмическим свойствам грунты в каньонной части, под ядром плотины водохранилища и в правобережной части береговых склонов относятся к грунтам I категории, а галечники под плотиной на левобережной поверхности и в верхней части примыкания плотины к грунтам II категории. Согласно установленным нормам интенсивность сейсмических колебаний соответственно составляет 8 и 9 баллов.

Работа выполнена при поддержке Академии наук, Министерства инновационного развития и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан (Государственная программа фундаментальных и прикладных исследований на 2017–2020 годы гранты № ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115).

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотникова, Л.М. К вопросу о механизме техногенных землетрясений / Л.М. Плотникова, Б.С. Нуртаев, М.Г. Фленова // Геология и минеральные ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 54–58.

¹ Градостроительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения: ШНК 2.06.11-04. – Утвержден Приказом Госархитектстроя РУз от 21.12.04 № 76а. – Государственный Комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. – Ташкент, 2006. – 103 с.

² Там же.

2. Плотникова, Л.М. Влияние Чарвакского водохранилища на параметры сейсмического режима / Л.М. Плотникова, В.И. Уломов, В.И. Махмудова // Экспериментальная сейсмология в Узбекистане. – Ташкент: Фан. – 1983. – С. 31–43.
3. Хамидов, Л.А. Инженерные основы цифрового сейсмометрического наблюдения в зоне водохранилищ Узбекистана / Л.А. Хамидов [и др.] // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Междунар. науч.-практ. конф., материалы «ГЕОРИСК-2015»: в 2 т. / отв. ред. В.И. Осипов. – М.: РУДН, 2015. – Т. 1. – С. 534–540.
4. Квашин, Е.В. Автоматизированная сейсмометрическая служба Чарвакской плотины / Е.В. Квашин, Л.М. Плотникова, У.Г. Тиллаводдиев // Инструментальные средства сейсмических наблюдений. – М.: Наука. – 1980. – № 13. – С. 32–34.
5. Хамидов, Л.А. Анализ инженерно-сейсмологических параметров и коэффициента разжижения грунтов в теле плотины Чарвак / Л.А. Хамидов, А.Х. Ибрагимов, Ф.Р. Артиков // Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем: материалы VI Междунар. научно-техн. конф., Узбекистан, Самарканд, 19–20 апр. 2013 г. – Самарканд: СамГАСИ. – 2013. – Т. 2. – С. 72–75.
6. Хамидов, Л.А. Возможности оценки собственных колебаний плотин и влияния режима эксплуатации водохранилищ на локальную сейсмичность / Л.А. Хамидов [и др.] // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – 2018. – № 2. – С. 74–79.
7. Nakamura, Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Micro tremor on the Ground Surface / Y. Nakamura // Quart. Report of RTRI, 1989. – Vol. 30, № 1. – P. 25–33.
8. Ибрагимов, А.Х. Частота собственных колебаний плотин Резаксайского и Каркидонского водохранилищ Ферганской долины / А.Х. Ибрагимов, Х.Л. Хамидов // Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии: материалы Междунар. научн. конф., Узбекистан, Ташкент, 15–16 окт. 2018 г. – Ташкент, 2018. – С. 461–464.
9. Хамидов, Л.А. Об изменчивости параметров сейсмичности в зонах активного влияния водохранилищ Узбекистана / Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы XIII Междунар. сейсмологической школы (на базе сейсмической станции «Симиганч»), Таджикистан, Душанбе, 11–15 сент. 2018 г. / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 307–311.

**Современное состояние и результаты сейсмического мониторинга на плотине
и береговых склонах Чарвакского водохранилища**

**Current status and results of seismic monitoring on the dam
and coastal slopes of the Charvak reservoir**

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич

доктор (PhD) по техническим наукам

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория локального сейсмотехногенеза,
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: hayrulla_classic@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3210-6662

Khayrulla L. Khamidov

PhD in Technical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Local Seismic Techno Genesis Laboratory,
Senior Researcher

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: hayrulla_classic@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3210-6662

Ибрагимов Алишер Хайдарович

кандидат физико-математических наук

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория экспериментальной
сейсмологии, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: alisher1957@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7190-0116

Alisher Kh. Ibragimov

PhD in Physical and Mathematical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Laboratory of Experimental Seismology,
Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: alisher1957@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7190-0116

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич

доктор физико-математических наук

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан,
лаборатория локального сейсмотехногенеза,
заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: hamidov_l@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8084-1648

Lutfulla A. Khamidov

Grand PhD in Physical and Mathematical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Local Seismic Techno Genesis Laboratory,
Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: hamidov_l@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8084-1648

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.287>

CURRENT STATUS AND RESULTS OF SEISMIC MONITORING ON THE DAM AND COASTAL SLOPES OF THE CHARVAK RESERVOIR

Khamidov Kh.L., Ibragimov A.Kh., Khamidov L.A.

Purpose. Improvement of the seismicity monitoring system and implementation of a new digital system of engineering and seismometric observations with a modern base for processing seismometric information at the hydraulic structures of Uzbekistan.

Methods. Introduction of digital recording of waves for assessing oscillations of the dam and the coastal part of the Charvak reservoir.

Findings. The frequencies and oscillation rates of the dam body and the coastal slopes are determined in automatic mode without operator intervention. The ratios of the amplitudes of the oscillation velocity in measuring points to the amplitudes of the oscillation velocity of the dam base or the coastal slopes of the Charvak reservoir are calculated. When registering different earthquakes at different points, these relations vary significantly depending on the azimuth of the arrival of waves. Reservoir soils are categorized by seismic properties.

Application field of research. The obtained experimental data can be used to assess the conditions of oscillations of high dams of the Charvak reservoir during strong earthquakes.

Key words: reservoir, seismic monitoring, earthquake, spectrum, magnitude.

(The date of submitting: May 21, 2020)

REFERENCES

1. Plotnikova L.M., Nurtaev. B.S., Flenova M.G. K voprosu o mekhanizme tekhnogennykh zemletryaseniy [To the question of the mechanism of technogenic earthquakes]. *Geologiya i mineral'nye resursy* [Geology and mineral resources], 1999. No. 1. Pp. 54–58. (rus)
2. Plotnikova L.M., Ulomov V.I., Makhmudova V.I. Vliyaniye Charvaksckogo vodokhranilishcha na parametry seysmicheskogo rezhima [The influence of the Charvak reservoir on the parameters of the seismic regime]. *Eksperimental'naya seysmologiya v Uzbekistane* [Experimental seismology in Uzbekistan]. Tashkent: Fan, 1983. P. 31–43. (rus)
3. Khamidov L.A., Ziyaudinov F.F., Khamidov Kh.L., Artikov F.R. Inzhenernye osnovy tsifrovogo seysmometricheskogo nablyudeniya v zone vodokhranilishch Uzbekistana [Engineering fundamentals of digital seismometric observation in the zone of reservoirs of Uzbekistan]. *Proc. 9th Intern. scientific-practical conf. «Analysis, prediction and management of natural risks in the modern world (GEORISK–2015)»*. In 2 vol. Moscow: RUDN. 2015. Vol. 1. Pp. 534–540. (rus)
4. Kvashin E.V., Plotnikova L.M., Tillavoldiev U.G. Avtomatizirovannaya seysmometricheskaya sluzhba Charvaksckoy plotiny [Automated seismometric service of the Charvak dam]. [Instruments for seismic observations]. Moscow: Nauka. 1980. No. 13. P. 32–34. (rus)
5. Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Artikov F.R. Analiz inzhenerno-seysmologicheskikh parametrov i koeffitsiyenta razzhizheniya gruntov v tele plotiny Charvak [Analysis of engineering-seismological parameters and the coefficient of soil liquefaction in the body of the Charvak dam]. *Proc. VI Intern. scientific-technical conf. «Modern problems of building materials, structures, soil mechanics and complex rheological systems»*, Samarkand, April 19–20, 2013. In 2 vol. Samarkand State Architectural and Civil-Engineering Institute, 2013. Vol. 2. Pp. 72–75. (rus)
6. Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Artikov F.R., Khamidov Kh.L., Ganieva B.R. Vozmozhnosti otsenki sobstvennykh kolebaniy plotin i vliyaniya rezhima ekspluatatsii vodokhranilishch na lokal'nuyu seysmichnost' [Opportunities for assessing the natural oscillations of dams and the impact of reservoir operation on local seismicity]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Uzbekistan*, 2018. No. 2. Pp. 74–79. (rus)
7. Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Micro tremor on the Ground Surface. *Quart. Report of RTRI*, 1989. Vol. 30. No. 1. Pp. 25–33.
8. Ibragimov A.Kh., Khamidov Kh.L. Chastota sobstvennykh kolebaniy plotin Rezaksaysckogo i Karkidonsckogo vodokhranilishch Fergansckoy doliny [The frequency of natural oscillations of the dams of the Rezaksay and Karkidon reservoirs of the Ferghana Valley]. *Proc. Intern. scientific conf. «Geophysical*

methods for solving urgent problems of modern seismology», Uzbekistan, Tashkent, October 15–16, 2018. Pp. 461–464. (rus)

9. Khamidov L.A., Artikov F.R., Khamidov Kh.L. Ob izmenchivosti parametrov seysmichnosti v zonakh aktivnogo vliyaniya vodokhranilishch Uzbekistana [On the variability of seismicity parameters in zones of active influence of reservoirs in Uzbekistan]. *Modern methods of processing and interpretation of seismological data: materials of the XIII International Seismological School (based on the Simiganch seismic station), Tajikistan, Dushanbe, September 11–15, 2018. Ed. A.A. Malovichko. Obninsk: FRC GS RAS, 2018. Pp. 307–311. (rus)*

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.297>

УДК 699.841:699.812.2

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Маджидов И.У., Кулдошев А.Х., Ибрагимов Б.Т.

Цель. Выявление наиболее опасных для жизни и здоровья населения зон на подверженных землетрясениям территориях, уточнение соответствующих мер по спасению людей и ликвидации пожаров.

Методы. Применены сравнительно-аналитический и эвристические методы анализа пожаров при землетрясениях с учетом технического состояния зданий. Использован зарубежный опыт ликвидации последствий землетрясений и вторичных пожаров.

Результаты. Выявлены особенности пожаров, возникающих при различных разрушениях зданий вследствие землетрясений и стихийных бедствий, позволяющие определить задачи и цели спасательных подразделений в зонах разрушений. Уточнены факторы, способствующие возникновению и распространению таких пожаров. Предложен комплекс мероприятий, направленный на предотвращение пожаров до и во время землетрясения.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть применены при проведении учений, связанных с землетрясением и возникшими пожарами для отработки взаимодействия пожарно-спасательных подразделений с населением, и осуществлении пропаганды правил по безопасности жизнедеятельности для формирования у населения устойчивых навыков выживания при землетрясениях и пожарах.

Ключевые слова: пожары, землетрясения, причины распространения, разрушение, опасность, бедствие, фактор, причина, оценка последствий.

(Поступила в редакцию 21 мая 2020 г.)

Введение

Ежегодно в различных уголках земли происходит немало стихийных бедствий, причиняющих значимый экономический ущерб и несчастья людям. Наводнения, обвалы, оползни, ливни, селевые потоки и ряд других явлений могут подстергать людей в неожиданных местах. Одно из потенциальных и самых больших опасностей последствий землетрясений – угроза пожара. Пожары – обычное явление после землетрясений. Так, японцы с гордостью называют Кобе городом XXI в., однако после землетрясения магнитудой 7,3 балла, произошедшего в Кобе 16 июня 1995 г., ему был причинен материальный ущерб на сумму в 102,5 млрд долларов. Вслед за этим землетрясением последовал пожар, который уничтожил полностью всю старинную часть данного города. А значит, даже современные города не имеют абсолютной защиты от разбушевавшихся стихий [1].

Если обратиться к более древнему факту, то 18 октября 1356 г. в 10 ч вечера землетрясение колоссальной силы уничтожило Базель (Швейцария) и окрестные селения, расположенные в радиусе 30–40 км. Землетрясение достигло силы 11 баллов. Дома, церкви и крепости не выдержали толчка такой силы. Укрепленные замки и связанные с ними небольшие города и селения были полностью уничтожены. Своды кафедрального собора в Берне рухнули, разрушалась колокольня. В Швейцарии не осталось почти ни одной местности, где бы это землетрясение не причинило ущерба. Только под обломками зданий погибло несколько сотен тысяч человек. Оставшиеся в живых бежали в сельскую местность, откуда наблюдали, как в городе распространился пожар, бушевавший в течение нескольких дней и уничтоживший все то, что еще уцелело после сотрясений природной стихии.

Поэтому следует отметить, что угроза пожара всегда существует как следствие любого землетрясения для всех районов и любых категорий сооружений. Так, во время Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. наблюдалось большое количество очагов пожа-

ров и возгораний, которые были своевременно ликвидированы благодаря четкой организации пожарной службы города. Конечно, при землетрясениях наибольший вред причиняется из-за некачественной и плотной застройки, непродуманного расположения путепроводов и хранения горючих материалов. Именно при таких условиях могут возникнуть крупные пожары [2].

При землетрясениях один из четырех пожаров возникает из-за утечки газа. К авариям на газовых коммуникациях приводят отклонения от норм безопасности. Не оснащенные системами блокировки подачи топлива печи, плиты и водонагреватели становятся причиной пожаров в жилых домах и на промышленных предприятиях. В 1923 г. при Токийском землетрясении в панике и пожарах погибли десятки тысяч человек. Землетрясение случилось в полдень, когда в большинстве домов готовились к обеду. Почти тотчас во многих местах Токио возникли пожары. Вначале они были небольшими, но потом распространились, и справиться с ними было трудно, т. к. все противопожарное оборудование было повреждено землетрясением.

Вторичные бедствия землетрясений вполне предсказуемы и могут быть предупреждены. Для этого необходим детальный анализ возможных природных угроз, изучение геологической обстановки в районе населенных пунктов или предполагаемого их размещения. При застройке местности необходимо учитывать устойчивость горных склонов и разновысотных элементов рельефа, стараться рационально использовать жилые кварталы, чтобы их взаимное расположение при возникновении землетрясения не вызывало трудностей для доступа к ним пожарно-спасательных отрядов.

В связи с этим полезно обратить внимание на зарубежный опыт. Так, в совместном проекте The Golden Guardian («Золотой страж») Геологической службы США и Геологической службы Калифорнии в ноябре 2008 г. был разыгран сценарий землетрясения с магнитудой 7,8 баллов по шкале Рихтера в восьми графствах Калифорнии: Империял, Керн, Лос-Анджелес, Ориндж, Риверсайд, Сан-Бернардино, Сан-Диего и Вентура. Этот проект был нацелен на изучение последствий землетрясений, оптимизацию средств их ликвидации и проверку готовности служб спасения. Учения позволили определить те сферы, где потери могут оказаться существенными.

Согласно сценарию землетрясение произошло в 10 ч утра 13 ноября 2008 г., разрушило 600 тыс. строений, оставив десятки тысяч жителей без крова. «Погибло» более 1800 человек, 50 тыс. «получили ранения» различной степени тяжести, 750 из них потребовалась срочная медицинская помощь. Общий ущерб от землетрясения «составил» 200 млрд долларов, из которых 33 пришлось на жилой сектор, а 50 на экономическую деятельность штата. При этом экономическая активность «снизилась» не только из-за биржевых потерь, но и из-за отсутствия электричества, газа и воды.

Основные потери распределились по нескольким категориям:

- убытки в строительной сфере;
- не связанные с несущими строительными конструкциями повреждения;
- угроза инфраструктуре и возможностям выживания;
- потери от пожаров.

Выяснилось, что в случае возникновения настоящего землетрясения основная часть разрушений придется на старые дома, а также неармированные конструкции и железобетонные здания, которые уже не возводятся из-за несоответствия новым строительным нормам, но и не модернизируются. Эти спроектированные до 1994 г. строения расположены в урбанизированных областях Лос-Анджелеса, Оринджа, Риверсайда и Сан-Бернардино. В дальнейшем жителям таких домов разъяснили, что они проживают в наиболее опасных зонах и должны в течение краткого времени сменить место жительства на более безопасные жилые помещения либо провести ремонтные работы по установке соответствующих демпферных устройств [3].

Не связанные с несущими строительными конструкциями повреждения затронули внутренние перегородки системы водо- и газоснабжения, кондиционирование воздуха, электропроводку и спутниковые антенны. Как оказалось, убытки от них сопоставимы с ущербом от повреждения несущих конструкций зданий и нуждаются в оптимизации защиты. Так, если вовремя не произвести замену труб водопроводов и канализации, то на их ремонт может уйти до полугода, а стоимость починки обойдется штату Калифорния в 1 млрд долларов. Там, где модернизация дорог проходила медленно, «произошли» наибольшие повреждения транспортной инфраструктуры. Это осложнило оказание гуманитарной и медицинской помощи пострадавшему населению, а на восстановление дорог потребовалось около 5 млрд долларов. Здания с деревянными каркасами удовлетворительно «перенесли» подземный удар с меньшим количеством повреждений. Однако были «разрушены» старые дома без фундамента и здания на первых этажах которых имелся гараж или широкое окно, сделанное без применения арматуры, а также сооружения, при возведении которых не соблюдались принятые строительные нормы и правила. В районах с плотной застройкой из деревянных зданий возникли «пожары». До 1600 возгораний, причем 1200 из них высокой категории сложности. Распространению пожаров способствовали повреждения систем водоснабжения и транспортные заторы на дорогах. Учения показали, что число жертв сократится, если население будет обучено правилам поведения во время чрезвычайных ситуаций. После рекордного по числу ураганов сезона 2005 г. в США был взят на вооружение подход «Помоги себе сам».

Основная часть

Проведенный анализ пожаров выявил, что основным путем распространения пожаров в многоэтажных домах являются деформационные швы. В частности, так распространялся пожар, возникший в 24-этажном здании Гринфилд-тауэр в Лондоне, в результате которого погибло более 90 человек и более 100 человек были ранены. Быстрое распространение пожаров в многоэтажных зданиях и сооружениях обусловлено тем, что деформационные швы не защищены в требуемой степени. Более того, отсутствует анализ и учет распространения огня через эти швы.

От любого земного толчка, обладающего повышенной степенью потенциальной энергии по шкале Рихтера, разрушаются печи, падают осветительные и обогревательные приборы, замыкаются электропровода. Особенно опасно образование искр от ударов или коротких замыканий в нефтегазохранилищах, хлопкозаводах. Пожары возникают в результате повышенной плотности постройки города, нарушения или отсутствия системы тушения пожаров, большого количества недоработок конструкций зданий, паники и беспокойства, возникающего у населения, неблагоприятных условий погоды и времени суток.

Оценка последствий землетрясений в крупных городах мира в последние годы позволила установить, что число жертв среди населения и размеры материального ущерба могут быть значительно сокращены, если заблаговременно производить оценку риска в наиболее заселенных людьми районах, предусматривать укрепление существующих и разработку новых конструкций и технологий возведения сейсмостойких зданий и сооружений.

Для того чтобы не повторить трагедию, подобную той, которая произошла из-за землетрясения в 1906 г. в Сан-Франциско, в таких развитых странах, как США, Япония, Китай, Филиппины и др., в настоящее время просчитаны потенциальные оценки потерь от будущих землетрясений для различных крупных городов, разрабатываются соответствующие меры по снижению сейсмического риска. Число жертв от таких землетрясений может составить от 2 до 100 тыс. человек (в зависимости от времени суток и устойчивости сооружений), материальный ущерб из-за разрушения зданий и уничтожения имущества может составить не менее 60 млрд долларов США. Указанный ущерб не смогут возместить никакие страховые компании, а повторение землетрясений, подобных 1923 г. в Токио, по данным расчета Национального агентства Японии, приведет к общему экономическому ущербу, равному 1800 млрд

долларов, и его последствия, несомненно, будут оказывать негативное воздействие на темпы роста мировой экономики [4].

В настоящее время установлено, что источниками пожаров при сильных землетрясениях могут быть выходящие из образовавшихся трещин при сотрясениях почвы горючие газы, например водород. Так было во время Лиссабонского землетрясения 1 ноября 1755 г. Немецкий ученый А. Гумбольдт в пятом томе своего «Космоса» (1858) писал по поводу возникновения пожара в Лиссабоне следующее: «Во время сильного землетрясения, разрушившего Лиссабон 1 ноября 1755 г., можно было видеть, как столб огня и дыма вырывался в окрестности города из вновь образовавшейся трещины в скале Алвидрас». Пожары почти всегда возникают после разрушительных землетрясений, но не всегда они бывают обширными, как, например, в Базеле (1356), Лиссабоне (1356), Токио и Йокогаме (1923), Сан-Франциско (1906), Мессине (1908) и др. На масштабы потерь от пожаров, возникающих в результате землетрясений, влияют 3 фактора: число возникших первоначальных пожаров, потенциальная сила пожаров, наличие свободного поля для распространения пожара.

Для эффективного действия пожарных служб во время пожара необходимы людские ресурсы, оборудование и обязательное наличие воды. Именно наличие воды играет главную роль в деле пожаротушения, предотвращения распространения инфекционных заболеваний и др. Одной из важных особенностей сильных землетрясений является трудность водоснабжения населения из-за полного разрушения большинства трубопроводов, что парализует деятельность пожарных дружин. Так было в Тянь-Шане (Китай, 1976), где во время землетрясения разрушились почти все жилые (96 %) и промышленные (90 %) здания, мосты, опрокинулись железнодорожные вагоны, полностью вышли из строя инженерные коммуникации города, разорвались трубы, водные плотины. Из-за разрушения водных сооружений города начались массовые инфекционные заболевания: погибло около 1 млн человек из трехмиллионного населения города.

Причиной пожара может быть поврежденное вследствие нарушения производственных процессов оборудование промышленных зданий. К этой категории следует отнести пожары на огнеопасных производствах, складах горючих материалов и местах их продажи. Так было 16 июня 1964 г. в японском городе Ниигата: огромные резервуары с 400 000 т горючего превратились в ревуший факел, полыхавший двое суток. Все 8 электростанций вышли из строя. Убытки составили 35 млрд иен или 800 млн долларов.

При разрушении зданий серьезную опасность представляют повреждения газовой сети и электропроводок. Возникновение пожаров от замыкания электропроводов имело место, например, во время Карпатского землетрясения 10 ноября 1940 г.

Пожары, возникающие во время землетрясений, можно разделить на две категории:

– первичные пожары, возникающие от повреждения частей здания, оборудования, предметов обихода, повреждения газовых сетей и электропроводки, нарушения производственного процесса в огнеопасном производстве, и др.;

– вторичные пожары, возникающие вследствие распространения огня от соседнего горящего здания. Таким пожарам способствуют повышенная плотность постройки города, нарушение правил и даже отсутствие средств пожаротушения, наличие значительной доли горючих материалов в конструкциях зданий, неблагоприятные погодные условия и др.

Почти у половины всех поврежденных зданий отмечается разрушение несущих капитальных стен, простенков и каменных столбов. При этом наблюдается появление большого количества косых трещин с наклоном 30–60° к горизонту, косых пересекающихся и горизонтальных разломов на различной высоте и пересекающих горизонтальные швы кладки по всей площади элемента (сплошной стены, простенков и т. д.). Косые трещины образуются главным образом по горизонтальным и вертикальным швам кладки, но во многих случаях проходят и по кирпичу. При этом в зданиях наблюдаются повреждения, относящиеся к I группе. Однако связи между стенами перпендикулярного направления остаются ненарушенными или ограничиваются только местными повреждениями.

Данную степень повреждения можно охарактеризовать как потерю несущей способности стен и простенков при сохранности общей конструктивной схемы здания. В таком состоянии оказываются многие здания старой постройки различной этажности. В многоэтажных жилых зданиях разрушаются главным образом два верхних этажа, но имеются случаи преобладающего разрушения и нижних этажей. В двухэтажных зданиях очень часто повреждаются оба этажа. При преобладающем повреждении верхних этажей (нижние сохраняются в удовлетворительном состоянии) необходимо произвести проверочный расчет нижних этажей для определения прочности конструкций при последующих землетрясениях. В этом случае восстановительные работы достаточно производить в верхних этажах, в противном случае придется усиливать конструкцию всех этажей.

Около четверти зданий кроме описанных повреждений имеют еще трещины отрыва стен от взаимно-перпендикулярного направления в пересечении наружных продольных и торцовых стен между собой и внутренними стенами. Это явление наблюдалось в основном в одноэтажных зданиях, возведенных без учета современных норм сейсмостойкого строительства, и в некоторых многоэтажных зданиях более старой постройки. Данное состояние определяется как потеря несущей способности и нарушение общей конструктивной схемы здания.

В некоторых случаях при отрыве наружных стен происходило значительное отклонение от вертикали и отдельные стены падали. Здания, находящиеся в таком состоянии, считались полностью разрушенными и, как правило, подлежали сносу.

Это было характерно для одноэтажных зданий из сырцового кирпича. В многоэтажных зданиях данная степень разрушения встречалась как исключение, разрушались лишь отдельные помещения на верхних этажах. Нередко в плане в аварийном состоянии находились лишь отдельные помещения или небольшие участки здания. В этих случаях частично разбирали стены таких помещений и их перекладывали, заново связывая с существующими стенами. В результате техническое состояние здания менялось и из исправного состояния (I степень) строительной конструкции оно переходило в класс работоспособного состояния (II – степень), при котором некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, например по деформативности, а в железобетоне и по трещиностойкости, в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и несущая способность конструкций, с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, обеспечивается. Либо техническое состояние здание переходило в III степень, когда оно обретало ограниченно работоспособное состояние, при котором имеются дефекты и повреждения строительной конструкции, приведшие к некоторому снижению несущей способности, однако отсутствует опасность внезапного разрушения и функционирование конструкции возможно при контроле ее состояния, продолжительности и условий эксплуатации. Здания, получившие повреждения первой категории, восстанавливались обычными методами. Во всех случаях наиболее уязвимые элементы архитектурной отделки внутри помещения полностью разбирались и заменялись упрощенными деталями в соответствии с требованиями сейсмостойкости [5].

Заключение

Таким образом, чтобы предотвратить распространение пожаров от землетрясений до наступления тектонических событий и во время землетрясения, необходимо запланировать проведение профилактических мероприятий, что значительно облегчает деятельность специальных отделений по пожаротушению при проведении ими действий по реализации тактических мероприятий. Профилактические мероприятия требуют проведения сплошной технической проверки жилищного фонда на выявление зданий, имеющих ограниченно работоспособное (III степень) недопустимое (IV степень) и аварийное состояние (V степень).

Наряду с проверкой технического состояния зданий следует в обязательном порядке обращать внимание на состояние пожарной безопасности здания и сооружения, соответствия условий данного сооружения требованиям пожарной безопасности, включая составление виртуальной схемы сейсмо- и пожарной опасности зданий и сооружений населенного пункта, которая будет демонстрировать наиболее опасные зоны населенного пункта, где может произойти наибольшее количество пожаров. При этом особое внимание следует обращать на плотную планировку зданий, которые могут вызвать многочисленные завалы и станут наиболее опасны во время землетрясения.

Также следует подвергнуть технической проверке систему электро-, газо- и нефтеснабжения путем обследования трубопроводов и оценки их технического состояния на предмет выявления возможных технических аварий, которые могут быть чреватые взрывами и пожарами, включая также проверку технического состояния водопроводных трубопроводов.

Система связи и транспортной инфраструктуры также подлежит техническому обследованию с учетом возможных нарушений в этой сфере для принятия мер по приведению их в технически работоспособное состояние.

Все эти данные следует использовать при организации и проведении учений, связанных с инсценировкой землетрясения и пожаров, которые могут при этом возникнуть. По результатам учения наряду с учетом возможного ущерба следует обратить внимание на усиленные возможности спасения людей при чрезвычайной ситуации.

Комплекс мероприятий, направленный на предотвращение пожаров до и во время землетрясений, должен включать как предусмотренные планом профилактические мероприятия, так и заметное облегчение тактических действий подразделений, занимающихся тушением пожаров. К основным видам мероприятий в развитии градостроения следует отнести:

- снижение плотности застроек;
- увеличение разрывов между кварталами;
- создание широких проездов и полос зеленых насаждений;
- построение сети водных каналов;
- оснащение каждого квартала искусственными открытыми бассейнами, пригодными для нормальной жизнедеятельности проживающего в этих кварталах населения, а при экстремальных и кризисных ситуациях для бесперебойного снабжения водой пожарных машин;
- применение при застройке зданий и сооружений трудно горючих или негорючих материалов;
- обеспечение средствами пожаротушения сообразно действующим нормам и правилам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг, Я.М. Совершенствование антисейсмического проектирования и строительства: обзорно-аналитический доклад / Я.М. Айзенберг. – М.: ВНИИТПИ, 2006. – 111 с.
2. Баласанян, С.Ю. Сейсмическая защита и ее организация / С.Ю. Баласанян, С.Н. Назаретян, В.С. Амирбекян. – Гюмри: Эльдорадо, 2004. – 436 с.
3. Зеленский, Г.А. Демпфирование колебаний зданий с гравитационной сейсмоизоляцией на кинематических фундаментах / Г.А. Зеленский, А.С. Катен-Ярцев, В.В. Назин // Сейсмостойкое строительство: реф. сб. / ЦИНИС. Сер. 14. – 1977. – Вып. 2. – С. 27–33.
4. Саркисов, Д.Ю. Сейсмостойкость зданий и сооружений: курс лекций / Д.Ю. Саркисов. – Томск: ТГАСУ, 2015. – 156 с.
5. Колесников П.П. Нормативное регулирование огнезащиты конструкций, изделий и материалов в свете «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18, № 8. – С. 38–45.

Анализ факторов пожара при землетрясениях

Analysis of fire factors at earthquakes

Маджидов Ином Уришевич

доктор технических наук, профессор

Министерство высшего и среднего
специального образования Республики
Узбекистан, министр

Адрес: ул. Чимбай-2, 96,
100095, г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: edu@exat.uz

Inom U. Madzhidov

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Ministry of Higher and Secondary Special
Education of the Republic of Uzbekistan,
Minister

Address: ul. Chimbay-2, 96,
100095, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: edu@exat.uz

Кулдашев Абдулла Хамидуллаевич

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Узбекистан,
первый заместитель министра

Адрес: ул. Кичик халка йули, 4,
100084, г. Ташкент, Узбекистан

Abdulla H. Kuldashev

Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Uzbekistan,
First Deputy Minister

Address: ul. Kichik khalka yuli, 4,
100084, Tashkent, Uzbekistan

Ибрагимов Бахром Тошмуратович

доктор технических наук

Академия Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Узбекистан,
кафедра инженерной защиты населения
и территорий, начальник кафедры

Адрес: ул. Дустлик, 5,
100102, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: ibragimovbahrom2020@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4253-5199

Bahrom T. Ibragimov

Grand PhD in Technical Sciences

Academy of the Ministry of Emergency
Situations of the Republic of Uzbekistan,
Chair of Engineering Protection of the Population
and Territories, Head of the Chair

Address: ul. Dustlik, 5,
100102, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: ibragimovbahrom2020@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4253-5199

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.297>

ANALYSIS OF FIRE FACTORS AT EARTHQUAKES

Madzhidov I.U., Kuldashv A.H., Ibragimov B.T.

Purpose. Identification of the most dangerous zones for life and health of the population in areas subject to earthquakes, clarification of appropriate measures to save people and eliminate fires.

Methods. Comparative, analytical and heuristic methods for the analysis of fires during earthquakes were applied, taking into account the technical condition of buildings. The foreign experience of eliminating the effects of earthquakes and secondary fires has been used.

Findings. The features of fires that occur during various destruction of buildings due to earthquakes and natural disasters are revealed, which allow to determine the tasks and goals of rescue units in the destruction zones. The factors contributing to the occurrence and spread of such fires are clarified. A set of measures is proposed aimed at preventing fires before and during an earthquake.

Application field of research. The results of the research can be applied when conducting exercises related to the earthquake and resulted fires to develop the interaction of fire and rescue units with the population as well as propagating life safety rules for developing sustainable survival skills in earthquakes and fires in the population.

Keywords: fires, earthquakes, spreading reasons, destruction, danger, disaster, factor, cause, impact assessment.

(The date of submitting: May 21, 2019)

REFERENCE

1. Ayzenberg Ya. M. *Sovershenstvovanie antiseismicheskogo proektirovaniya i stroitel'stva* [Improvement of anti-seismic design and construction]: overview and analytical report. Moscow: VNIITPI (All-Union Scientific Research Institute of Information on Construction and Architecture), 2006. 111 p. (rus)
2. Balasanyan S.Yu., Nazaretyan S.N., Amirbekyan V.S. *Seismicheskaya zashchita i ee organizatsiya* [Seismic protection and its organization]. Gyumri: El'dorado, 2004. 436 p. (rus)
3. Zelenskiy G.A., Katen-Yartsev A.S., Nazin V.V. *Dempfirovaniye kolebaniy zdaniy s gravitatsionnoy seismoizolyatsiey na kinematicheskikh fundamentakh* [Damping of vibrations of buildings with gravitational seismic isolation on kinematic foundations]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo: ref. collection. CINIS* (Central Institute for Scientific Information on Construction). Ser. 14. 1977. Iss. 2. Pp. 27–33. (rus)
4. Sarkisov D.Yu. *Seysmostoykost' zdaniy i sooruzheniy* [Seismic resistance of buildings and structures]: lecture course. Tomsk: Tomsk state university of architecture and building, 2015. 156 p. (rus)
5. Kolesnikov P.P. *Normativnoe regulirovaniye ognezashchity konstruktsiy, izdeliy i materialov v svete «Tekhnicheskogo reglamenta o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti»* [Normative regulation of fire protection of structures, products and materials in the light of the «Technical regulations on fire safety requirements»]. *Fire and Explosion Safety*, 2009. Vol. 18, No. 8. Pp. 38–45. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.305>

УДК 624.131.1+550.34

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ДЛЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Исмаилов В.А., Актамов Б.У., Аллаев Ш.Б.

Цель. Разработка научно-практических методов оценки последствий сильных землетрясений на территории городов и населенных пунктов в сейсмоактивных регионах Узбекистана.

Методы. При оценке сейсмической опасности использован детерминистический подход. По результатам полевых сейсмометрических исследований с помощью программы Matlab MSEER_GMS оценены сейсмические воздействия для разных грунтовых условий. Построены функции сейсмической уязвимости и определена повреждаемость зданий с применением программы GESI_Program.

Результаты. Разработана методика оценки и районирования последствий сценарного землетрясения на урбанизированных территориях, которая включает оценку сейсмической опасности с выделением потенциально опасных очагов землетрясений и выбора сценарного землетрясения. Также предложена методика прогноза сейсмических воздействий с учетом затухания сейсмических колебаний, а также методика оценки конструктивной сейсмической уязвимости для различных типов зданий. Разработанные методологические подходы повышают достоверность количественной оценки последствий сильных землетрясений, что позволяет своевременно провести превентивные мероприятия, направленные на уменьшение ущерба на территории города.

Область применения исследований. Разработанную методику оценки последствий сильных землетрясений, произошедших на урбанизированных территориях, можно использовать при прогнозировании возможного ущерба на территории городов и населенных пунктов, расположенных в высоко сейсмических регионах.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, сценарное землетрясение, сейсмическая интенсивность, изосейсты, сейсмический риск, конструктивная уязвимость, сейсмонадежность, методика оценки землетрясений, оценка последствий землетрясений.

(Поступила в редакцию 21 мая 2020 г.)

Введение

В настоящее время имеется принципиальная возможность долгосрочной прогнозной оценки последствий сильного землетрясения. В частности, возможен прогноз сейсмической опасности определенных территорий и реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия и, следовательно, прогноз состояния урбанизированной территории после землетрясения. На основе такого прогноза, в свою очередь, возможна разработка мер по смягчению последствий землетрясения, а также обоснование планировочных решений при освоении новых сейсмоопасных территорий.

В этом аспекте оценка и районирование сейсмического риска урбанизированных территорий выглядит весьма актуальной задачей. В соответствии с формулировкой, введенной UNDRO, сейсмический риск – вероятность социально-экономического ущерба от возможных землетрясений в соответствии с расчетной сейсмической опасностью территории и уязвимостью строительных и природных объектов (тип зданий и инфраструктур, качество строительных объектов, плотность населения, оползни, сели, экология и т. д.).

По современным представлениям, сейсмический риск является комплексной величиной, отражающей по возможности все многообразие вероятных проявлений сильного землетрясения, вплоть до отдаленных по времени экономических, экологических и социальных последствий. Немаловажная роль при этом отводится оценке возможной энергии очага, его местоположению и интенсивности сотрясений в различных грунтовых условиях, поскольку

именно сейсмические колебания оказывают первичное воздействие, влекущее все те эффекты, которые принято считать последствиями землетрясения.

Урбанизированные территории в Республике Узбекистан (особенно в центральной и восточной частях) расположены в опасной близости к сейсмически активным зонам и в полной мере подвержены ощутимым сейсмическим воздействиям. Это такие крупные города, как Ташкент, Андижан, Наманган, Фергана, Самарканд, Джизак и др. По историческим и инструментальным данным в этих городах зафиксированы проявления землетрясений, вызывавшие сотрясения в 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64. Следовательно, для этих городов высока вероятность повторения подобных событий и в будущем. Являясь крупными областными центрами, они достаточно интенсивно развиваются и соответственно растет количество населения и стоимость объектов и имущества, находящихся в зоне возможного сейсмического воздействия землетрясений большой интенсивности. С учетом этого проблема оценки сейсмического риска для этих городов, как, впрочем, и для других населенных пунктов Узбекистана, становится одной из насущных для обеспечения устойчивого и гармоничного развития региона.

Основная часть

Теоретический анализ. Теоретические аспекты оценки сейсмического риска рассмотрены многими исследователями, которые на основе учета таких факторов, как сейсмическая опасность, уязвимость застройки и сейсмического риска, разработали методику оценки и прогноза сейсмического риска [1; 2; 3]. Согласно общепринятой концепции, В.И. Осиповым и др. [4] сейсмический риск определяется как суперпозиция сейсмической опасности и уязвимости различных элементов риска (люди, инженерные сооружения гражданского и промышленного назначения, линии жизнеобеспечения, другие составляющие инфраструктуры, экономическая и коммерческая деятельность и т. д.).

Концепция оценки сейсмического риска состоит из трех последовательно выполняемых блоков задач, которые выглядят следующим образом:

БЛОК-источник включает следующие задачи:

- исследование сейсмической опасности региона, анализ очаговых зон и выделение потенциально опасных очагов землетрясений для города или населенного пункта;
- выбор нескольких вариантов потенциальных землетрясений, представляющих наибольший практический интерес при оценке сейсмического риска;
- выбор сценарного землетрясения с учетом наибольшей вероятности возникновения и наибольшей разрушительной силы на территории города, а также определение вероятных параметров сценарного землетрясения;
- оценка параметров затухания сейсмической энергии и интенсивности сейсмических колебаний с расстоянием и построение теоретических изосейст для выбранного сценарного землетрясения.

БЛОК-воздействие направлен на решение следующих задач:

- анализ инженерно-геологических условий территории города и оценка их влияния на интенсивность сейсмических колебаний и проявлений сейсмического эффекта;
- выделение и оценка участков с возможными проявлениями инженерно-геологических процессов, таких как разжижение, склоновые процессы, суффозия и оврагообразование;
- количественная оценка проявлений сейсмической интенсивности на различных грунтовых условиях;
- оценка сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 в выделенной для анализа точке с учетом затухания сейсмических колебаний от сценарного очага и реальных грунтовых условий;

– построение для территории города прогнозной карты макросейсмического эффекта от сценарного землетрясения с оценкой параметров сейсмических колебаний на различных грунтах, присущих исследуемой территории.

БЛОК-последствие направлен на оценку сейсмической уязвимости зданий и сооружений, который включает решение следующих задач:

– типизация зданий и сооружений по конструктивному типу, анализ повреждаемости конструктивных схем и построение функции уязвимости для каждого типа зданий и сооружений;

– разработка технологии оценки ущерба и картирование территории города по выделенным типам зданий и сооружений;

– разработка интегральной оценки удельного ущерба для совокупной застройки.

Методические подходы при оценке сейсмического риска. При оценке составляющих сейсмического риска используются в основном два подхода: детерминистский и вероятностный.

Детерминистский подход основан на учете максимального потенциала сейсмического источника, определяемого его геолого-тектоническими особенностями. Как правило, этот подход выполняется в двух случаях возникновения землетрясения: 1) при наличии очага с максимально возможной магнитуды от основной сейсмогенной зоны на минимальном расстоянии до исследуемой территории и 2) когда из-за рассеянности очагов землетрясений фоновая сейсмичность непосредственно под объектом исследования принимается как основной сейсмический источник. Такой подход в последние годы при оценке сейсмического риска получил новое название «недетерминистское», или «сценарное землетрясение».

В процессе оценки сейсмической уязвимости от сценарного события можно выделить ряд условий, в значительной степени влияющих как на характер пространственного распределения уровня сейсмического риска, так и на его фактические численные значения [5]:

1. Параметры сейсмического события, к которым относятся магнитуда, глубина очага, координаты эпицентра и гипоцентрального расстояние.

2. Закон затухания сейсмической интенсивности. Например, для Узбекистана на основе статистического анализа записей сейсмических колебаний и макросейсмических данных Т.У. Артиковым и Р.С. Ибрагимовым получены эмпирические уравнения затухания сейсмических колебаний как в макросейсмических баллах, так и в пиковых ускорениях [6].

Вероятностный подход оценивает вероятность возникновения расчетного сейсмического воздействия на участке от различных сейсмических источников. При вероятностной оценке сейсмического воздействия на сооружения и здания учитываются в основном три фактора: сила воздействия, спектральный состав колебаний и вероятность превышения расчетных значений в течение заданного периода времени. При оценке силы воздействия используются такие параметры, как интенсивность сотрясений земной поверхности (в значениях ускорений, скоростей или смещений) и закон затухания сейсмических колебаний для данного региона.

В формировании поля сейсмических движений на поверхности земли наряду с очаговыми факторами, определяющими путь распространения сейсмических волн в поглощающей и рассеивающей геологической среде, важную роль играют локальные грунтовые условия, которые в ряде случаев являлись основной причиной повреждения зданий и сооружений. Реакция рыхлой грунтовой толщи на сейсмические колебания определяется физико-механическими и сейсмическими свойствами грунта, геометрией залегания грунтовых слоев и интенсивностью воздействий.

На исследуемых точках абсолютные величины сейсмической интенсивности (от сценарного события) определяются путем прибавления расчетных значений сейсмической интенсивности (от сценарного события для средних грунтов) к значениям приращения интенсивности с учетом грунтовых условий. Подобные данные содержатся в картах сейсмиче-

ского микрорайонирования (СМР), которые составляются на основе инженерно-геологических, инструментально-сейсмометрических, сейсморазведочных и теоретико-расчетных методов. В том случае, если работы по СМР на территории города не проводились, для оценки сейсмической интенсивности и составления карты ее распределения на территории города при сценарном землетрясении используются данные о категории грунта, определяемые по строительным нормам.

Процесс оценки сейсмической уязвимости зданий в первую очередь связан с определением состояния различных конструктивных элементов зданий, расположенных на территории города. Оценка состояния конструктивных элементов зданий базируется на данных паспортизации, т. е. на сборе данных о сейсмонадежности застройки с учетом сейсмичности строительной площадки и натуральных инструментально-сейсмометрических исследований динамических характеристик зданий. Из огромной застройки детальное изучение состояния сейсмостойкости и определение класса конструктивной уязвимости зданий выполняются обычно для весьма ограниченной совокупности специально выбранных строений, в зависимости от особенностей их конструктивных элементов. Сейсмическая надежность оставшегося массива зданий определяется на основе этих базовых оценок с помощью метода экспертно-логических или сравнительных оценок [7]. В целом сейсмическая надежность зданий и сооружений определяется двумя характеристиками:

- категорией конструктивной уязвимости здания (сооружения);
- уровнем сейсмостойкости здания (сооружения).

Конструктивная уязвимость как свойство строительного сооружения реагировать на сейсмические воздействия является ключевой характеристикой надежности и безопасности этого сооружения и во многом определяет реальные последствия от землетрясений.

Повреждаемость зданий – это способность зданий повреждаться под действием внешних и внутренних воздействий, что является прямым показателем сейсмической уязвимости зданий. Для оценки повреждаемости конкретных конструктивных типов зданий разработана программа GESI_Program, которая основана на результатах макросейсмических исследований сильных землетрясений. Данная программа разработана в рамках пилотного проекта Организации Объединенных Наций «Глобальная инициатива по сейсмической безопасности» (Global Earthquake Safety Initiative (GESI) Pilot Project) в 1999–2001 гг. Программа состоит из пяти комплексов входных параметров, которые характеризуют тип строения, конструктивные особенности, качество строительства, качество строительного материала и уровень сейсмического воздействия в значениях пиковых ускорений. На основании этих входных параметров строится диаграмма повреждаемости и функция уязвимости зданий. Повреждаемость зданий оценивается в пяти градациях: без повреждения, легкие повреждения, умеренные повреждения, тяжелые повреждения и очень тяжелые повреждения. Данная программа позволяет также строить функцию уязвимости для конкретного типа зданий.

В связи с тем что в основу оценки последствий сильных землетрясений положены экономические критерии, необходимо произвести расчеты с учетом этих показателей. Для этого проводятся следующие шаги:

- определяется текущая стоимость каждого конструктивного типа зданий и сооружений;
- проводится оценка конструктивной уязвимости каждого типа застройки при воздействии сценарного землетрясения;
- осуществляется переход от конструктивной уязвимости к вероятному конструктивному ущербу;
- делается экономическая оценка конструктивного ущерба и проводится расчет сейсмического риска для территории города.

Расчет сейсмического риска, выраженного в виде прямого экономического ущерба на единицу полезной площади зданий, является распространенным методом. Его можно представить следующим выражением [6]:

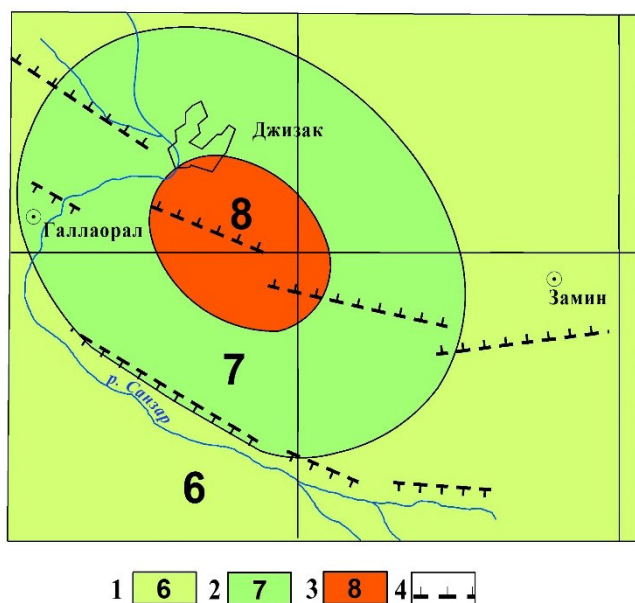
$$R = \frac{\sum_k \left(f(d_k) \cdot \sum_l Q_k^l \right)}{\sum_k S_k},$$

где $f(d_k)$ – функция, определяющая затраты на восстановление при степени повреждения зданий d_k ; Q_k^l – стоимость однотипных зданий с повреждениями d_k ; S_k – полезная площадь зданий с повреждениями d_k .

Результаты исследования и их обсуждение. Для тестирования методики оценки последствий сильного землетрясения был выбран Джизак, административный центр Джизакской области. Выбор территории Джизака обусловлен тем, что город находится в центральной части Республики Узбекистан, который по своему геоструктурному положению относится к области перехода от Тянь-Шаньского эпиплатформенного орогена к Туранской платформе. Сейсмичность территории напрямую связана с современной тектоникой данного региона. Сильные землетрясения, происходящие в непосредственной близости города, такие как Уратюбинские (1897) с магнитудами 6,6 и 6,7; Галляаральское (1984) с магнитудой 5,2, Бахмальское (2017) с магнитудой 5,0, связаны с современной сейсмогеодинамической активностью Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны, обусловленной динамическим влиянием одноименной системы региональных разломов.

С учетом сейсмической обстановки современную тектоническую активность территории и региональные особенности затухания сейсмических колебаний, было выбрано сценарное землетрясение со следующими параметрами: магнитуда $M \geq 6,0$, глубина очага $H = 10$ км, гипоцентральное расстояние $R = 21$ км.

На рисунке 1 показаны расчетные изосейсты сценарного землетрясения, где территория города расположилась в 7- и 8-балльных зонах.

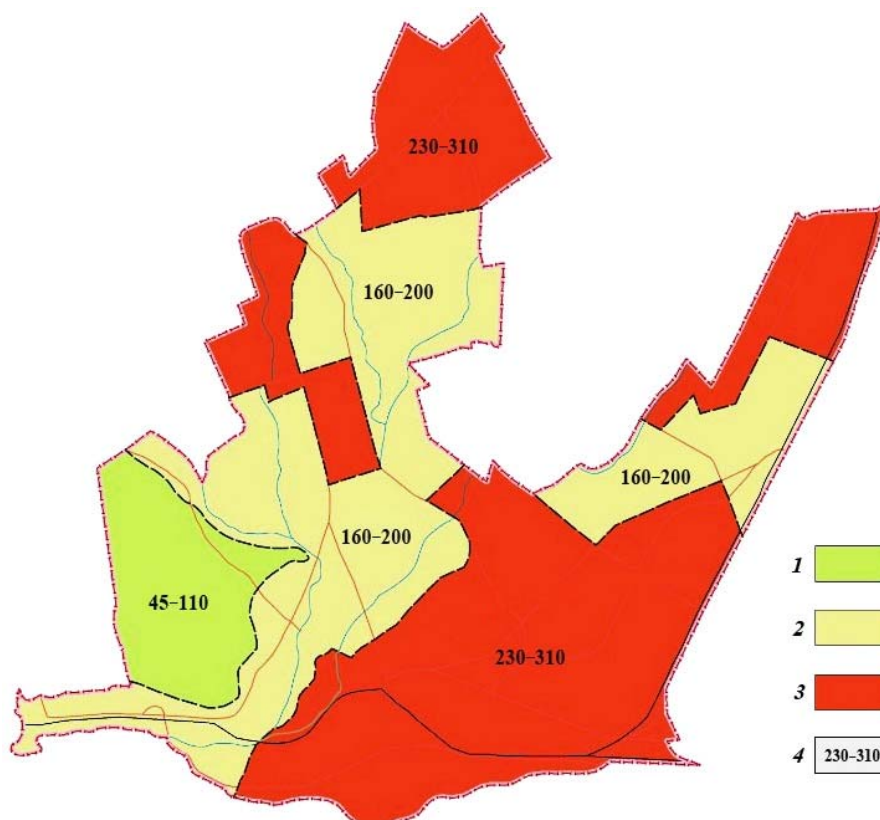


1 – 6-балльная зона; 2 – 7-балльная зона; 3 – 8-балльная зона; 4 – активные разломы
Рисунок 1. – Схема расположения расчетных изосейст сценарного землетрясения

Территория Джизака относится к юго-западной оконечности Голодностепской впадины, заполненной мощной толщей (300–400 м) четвертичных отложений. Четвертичные отложения в пределах города представлены лессовидными суглинками, супесями с мощной толщью до 60 м, которые выстилаются дресвяно-щебенистыми, местами гравийно-галечниковыми отложениями, мощность толщ которых более 150 м.

Наиболее важным показателем при оценке сейсмических колебаний грунтов и расчете изменений сейсмической интенсивности являются скоростные характеристики, т. е.

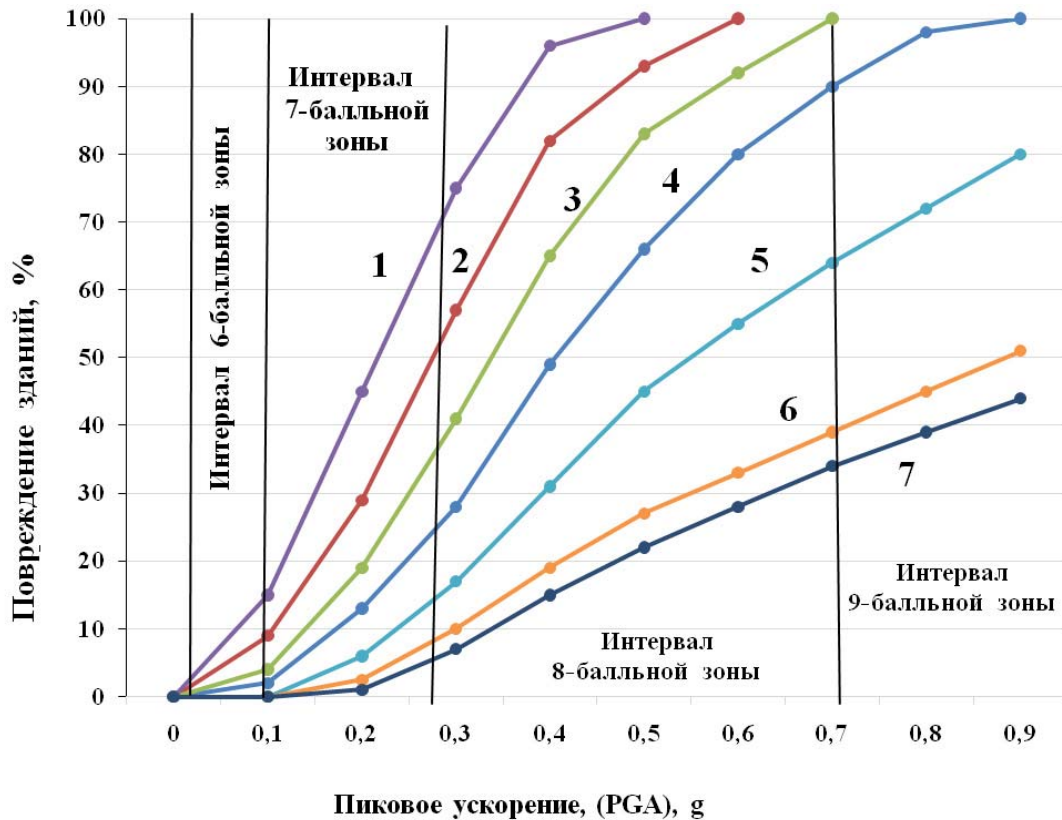
скорость распространения продольных и поперечных волн. В связи с этим были обобщены результаты сейморазведочных исследований, проведенных при сейсмическом микрорайонировании города. Эти данные легли в основу расчета оценки приращения сейсмической интенсивности и синтетической акселерограммы. Для оценки сейсмической интенсивности при сценарном землетрясении были рассчитаны синтетические акселерограммы с использованием программы Matlab MSEER_GMS для тех пунктов, где проведены сейморазведочные исследования. В зависимости от грунтовых условий на территории города выделены 6-, 7- и 8-балльные зоны, которые характеризовались следующими значениями пикового ускорения в соответствии балльностью: 45–110, 160–200 и 230–310 см/с² (рис. 2).



1 – 6-балльная зона (PGA до 110 см/с²); 2 – 7-балльная зона (PGA 160–200 см/с²);
3 – 8-балльная зона (PGA 230–310 см/с²); 4 – значение пикового ускорения (PGA)

Рисунок 2. – Схема распределения сейсмической интенсивности (в макросейсмических баллах по шкале MSK-64 и значениях пикового ускорения – PGA) при сценарном землетрясении на территории Джизака

Для оценки возможных повреждений зданий на территории Джизака при сценарном землетрясении были собраны общие кадастровые данные о типах, этажности, возраста и территориальном распределении застройки. Согласно полученным данным территория города в основном застроена зданиями из местных строительных материалов: типа гувальяк (овальная форма кирпича сырца), кирпич сырец и пахса (монолит из глинистого раствора), а также из жженого кирпича, железобетонных блоков, панельных и крупнопанельных типов. Для построения функции уязвимости каждого конструктивного типа сооружений использована программа GESI Program. На рисунке 3 приведены функции уязвимости различных типов зданий, построенных на территории Джизака.



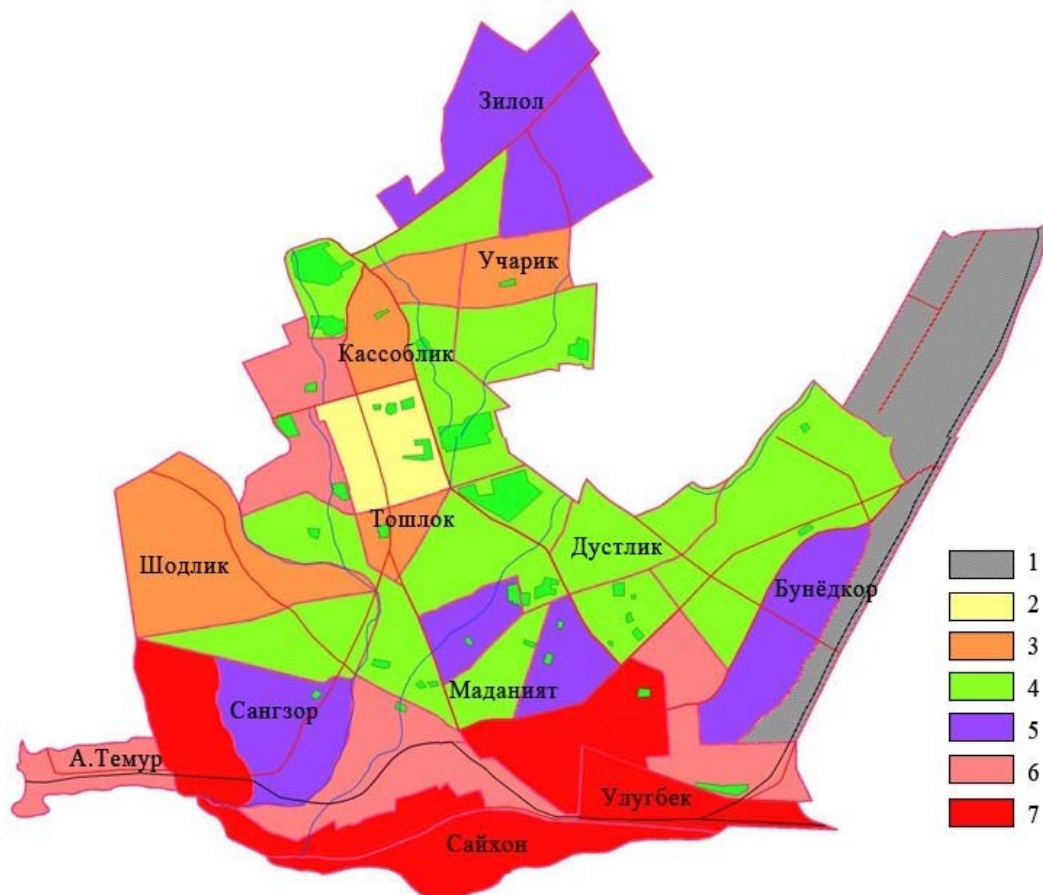
1 – здания из гувальяка; 2 – здания из кирпича-сырца; 3 – здания из пахсы; 4 – здания из жженого кирпича; 5 – здания из жженого кирпича и каркасно-панельной конструкции (до 2 этажей); 6 – здания из жженого кирпича комплексной конструкции; 7 – здания крупнопанельной конструкции
Рисунок 3. – Функции уязвимости для различных типов зданий на территории Джизака

Анализ функций уязвимости показывает, что здания из гувальяка при 7-балльных сейсмических воздействиях имеют повреждения 3–4-й степени, а при 8-балльных воздействиях – 4–5-й степени. Здания из кирпича сырца при 7-балльных воздействиях имеют 3-ю степень повреждений, а при 8-балльных – 4-ю степень. Здания из пахсы при 7-балльных сотрясениях имеют повреждения 2–3-й степени, а при 8-баллах – 3–4-й степени. Здания, построенные из жженого кирпича, имеют повреждаемость 2-й степени при 7-балльных сейсмических воздействиях и 2–3-й степени – при 8-балльных воздействиях. На территории Джизака в 50–70 гг. прошлого столетия был построен ряд зданий из железобетонных панелей. Они в основном двухэтажные, а по назначению – административные, социальные и жилые. Эти здания согласно функциям уязвимости, при 7 баллах имеют повреждаемость 2-й степени и при 8 баллах – 2–3-й степени.

Метод расчета прямого экономического ущерба при оценке сейсмического риска является более информативным, но вместе с тем и более трудоемким. Однако можно воспользоваться упрощенными относительными соотношениями стоимости зданий различных классов, что значительно упростит расчеты затрат. В этом случае последствия землетрясения будут определяться затратами на восстановление зданий до их исходного состояния, предшествовавшего землетрясению.

Исходя из этого, для оценки прямого ущерба на территории Джизака при сценарном землетрясении были использованы статистические и анкетные данные, собранные по махаллям (квартальная форма организации общественной жизни). При этом в расчет ущерба приняты такие данные, как параметры сейсмического воздействия, тип сооружений и их уязвимость, степень повреждаемости зданий при сценарном землетрясении, градация ущерба от конструктивных особенностей, удельная текущая стоимость зданий (в зависимости от конструктивных типов), восстановительные затраты (в зависимости от степени повреждения,

которые классифицированы на текущие, поддающиеся восстановлению и капитальные) и расчет удельного ущерба от сценарного землетрясения. На основании расчета была составлена схема распределения удельного ущерба по кварталам города (рис. 4).



Относительное значение ущерба от полезной площади зданий:
1 – от 0 до 10 %; 2 – 11–20 %; 3 – 21–30 %; 4 – 31–40 %; 5 – 41–50 %; 6 – 51–60 %; 7 – 61–70 %.

Рисунок 4. – Схема распределения удельного ущерба от сценарного землетрясения на территории Джизака (в разрезе кварталов)

Заключение

Таким образом, научно-методологическая основа оценки и районирования последствий сильного землетрясения на урбанизированных территориях базируется на данных оценки сейсмической опасности, с выделением потенциально опасных очаговых зон, выбора сценарного землетрясения, прогноза сейсмических воздействий с учетом затухания сейсмических колебаний и реальных грунтовых условий, а также оценке конструктивной сейсмической уязвимости различных типов зданий на территории города. Разработанная и апробированная методика оценки последствий сильных землетрясений в условиях города позволяет определить возможные ущербы при сильных сценарных землетрясениях. Полученные результаты и схема распределения удельного ущерба на территории Джизака от сценарного землетрясения могут служить основой для разработки планов и мероприятий по подготовке к сильным землетрясениям с целью предотвращения возможных катастрофических последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, А.А. Методы анализа сейсмического риска для населения и урбанизированных территорий / А.А. Александров [и др.] // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Сер. Естественные науки. – 2015. – № 2 (59). – С. 110–124. DOI: 10.18698/1812-3368-2015-2-110-124.
2. Заалишвили, В.Б. Оценка сейсмического риска урбанизированной территории / В.Б. Заалишвили [и др.] // Геология и геофизика юга России. – 2014. – № 2. – С. 22–29.
3. Ларионов, В.И. Методические подходы к оценке уязвимости и их применение при оперативном прогнозировании последствий землетрясений / В.И. Ларионов, Н.И. Фролова, А.Н. Угаров // Оценка и управление природными рисками: материалы общероссийской конф. РИСК-2000. – Москва: Анкил, 2000. – С. 132–135.
4. Осипов, В.И. Оценка сейсмического риска территории г. Б. Сочи / В.И. Осипов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. – № 1. – С. 3–19.
5. Tyagunov, S., Ismailov, V., Ibragimov, R. Engineering-seismological aspects of earthquake scenario preparation: Experience of the IDNDR-RADIUS project implementation in Tashkent, Uzbekistan / S. Tyagunov, V. Ismailov, R. Ibragimov // International Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management. – Ankara, Turkey, 1999. – P. 21–28.
6. Артиков, Т.У. Сейсмическая опасность территории Узбекистана / Т.У. Артиков, Р.С. Ибрагимов, Ф.Ф. Зияудинов. – Ташкент: Фан, 2012. – 254 с.
7. Шахраманьян, М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасения населения (теория и практика) / М.А. Шахраманьян; 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: ВНИИИ ГОЧС, 2000. – 192 с.

Методика оценки последствий сильного землетрясения для городских территорий
Estimation of effects of strong earthquake for urban territories

Исмаилов Вахитхан Алиханович

доктор геолого-минералогических наук,
доцент

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан
лаборатория сейсмического риска,
заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхонум, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: vakhit.mbm@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7893-1556

Vakhitkhan A. Ismailov

Grand PhD in Geological and Mineralogical
Sciences, Associate Professor

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Seismic Risk Laboratory, Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: vakhit.mbm@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7893-1556

Актамов Бекзод Уктамович

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова
Академии наук Республики Узбекистан
лаборатория сейсмического риска,
младший научный сотрудник

Адрес: ул. Зулфияхонум, 3,
100128, г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: cartograf100@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5511-1240

Bekzod U. Aktamov

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy
of Science of the Republic of Uzbekistan,
Seismic Risk Laboratory, Junior Researcher

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,
100128, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: cartograf100@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5511-1240

Аллаев Шерзод Батирович

Ташкентский государственный технический
университет, кафедра гидрогеологии
и инженерной геологии, магистрант

Адрес: ул. Университетская, 2,
100095, г. Ташкент, Узбекистан

e-mail: sherallaev@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8381-6301

Sherzod B. Allaev

Tashkent State Technical University,
Chair of Hydrogeology and Engineering
Geology, Graduate Student

Address: ul. Universitetskaya, 2,
100095, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: sherallaev@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8381-6301

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.305>

ESTIMATION OF EFFECTS OF STRONG EARTHQUAKE FOR URBAN TERRITORIES

Ismailov V.A., Aktamov B.U., Allaev Sh.B.

Purpose. Development of scientific and practical methods for assessing the effects of strong earthquakes in cities and settlements in seismically active regions of Uzbekistan.

Methods. When assessing seismic hazard, a deterministic approach is used. Based on the results of field seismometric studies using the Matlab MSEER_GMS program, seismic effects for different soil conditions were estimated. The functions of seismic vulnerability are constructed and the damage to buildings is determined using the GESI_Program program.

Findings. A methodology for assessing and zoning the consequences of a scenario earthquake in urban areas has been developed, which includes an assessment of seismic hazard with the identification of potentially dangerous earthquake sources and the selection of a scenario earthquake. A method for predicting seismic impacts taking into account the attenuation of seismic vibrations, as well as a method for assessing structural seismic vulnerability for various types of buildings, is also proposed. The developed methodological approaches increase the reliability of the quantitative assessment of the consequences of strong earthquakes, which allows timely preventive measures aimed at reducing damage in the city.

Application field of research. The developed methodology for assessing the consequences of strong earthquakes that occurred in urban areas can be used in predicting possible damage in cities and towns located in highly seismic regions.

Keywords: seismic hazard, scenario earthquake, seismic intensity, isoseists, seismic risk, structural vulnerability, seismic reliability, earthquake assessment methodology, earthquake impact assessment.

(The date of submitting: May 21, 2020)

REFERENCES

1. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P., Frolova N.I., Gumerov R.A. Metody analiza seysmicheskogo riska dlya naseleniya i urbanizirovannykh territorii. [Seismic risk analysis methods for the population and urbanized territories]. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Science*. 2015. No. 2 (59). Pp.110–124. (rus). DOI: 10.18698/1812-3368-2015-2-110-124.
2. Zaalishvili V.B, Dzeranov B.V, Nevskiy L.N., Arkhireeva I.G. Otsenka seysmicheskogo riska urbanizirovannoy territorii [Seismic risk assessment of urban area]. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2014. No. 2. Pp. 22–29 (rus).
3. Larionov V.I., Frolova N.I., Ugarov A.N. Metodicheskie podkhody k otsenke uyazvimosti i ikh primeneniye pri operativnom prognozirovanii posledstviy zemletryaseniy [Methodological approaches of vulnerability assessment and their application in the operational forecasting of the effects of earthquakes]. *Proc. All-Russian Conf. «Otsenka i upravlenie prirodnymi riskami (RISK-2000)»*. Moscow: Ankil, 2000. Pp. 132–135. (rus).
4. Osipov V.I., Larionov V.I., Sushchev S.P., Frolova N.I., Ugarov A.N., Kozharinov S.V., Barskaya T.V. Otsenka seysmicheskogo riska territorii g. B. Sochi [Seismic risk assessment for the greater Sochi area]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2015. No. 1. Pp. 3–19. (rus)
5. Tyagunov Sergey, Ismailov Vakhitkhan and Ibragimov Roman. Engineering-seismological aspects of earthquake scenario preparation: Experience of the IDNDR-RADIUS project implementation in Tashkent, Uzbekistan. *International Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management*. Ankara, Turkey, 1999. Pp. 21–28.
6. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ziyaudinov F.F. *Seysmicheskaya opasnost' territorii Uzbekistana* [Seismic hazard of the territory of Uzbekistan]. Tashkent: Fan, 2012. 251 p. (rus)
7. Shakhraman'yan M.A. *Otsenka seysmicheskogo riska i prognoz posledstviy zemletryaseniya v zada-chakh spaseniya naseleniya (teoriya i praktika)* [Seismic risk assessment and the forecasting of the effects of earthquakes for ensuring the safety of people (theory and practice)]. Moscow: All-Russian Research Institute for Civil Defence of the EMERCOM of Russia. 2000, 192 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.316>

УДК 614.846.63:004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЦИСТЕРНЫ НА ЕЕ ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ковтун В.А., Короткевич С.Г.

Цель. Модернизация эксплуатируемых цистерн пожарных автомобилей для повышения эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода.

Методы. Исследования проведены с использованием программного комплекса ANSYS.

Результаты. Разработаны расчетные конечно-элементные модели цистерн, позволяющие учитывать характер динамического воздействия жидкости на ее стенки при различных режимах движения пожарного автомобиля, прогнозировать места вероятного разрушения конструкции и обосновывать внесение в нее изменений. Установлены зависимости влияния геометрических параметров элементов конструкции цистерны на ее напряженно-деформированное состояние и прочностные свойства при эксплуатации. Представлены результаты теоретического обоснования эффективности применения оптимальных (по критериям запаса прочности конструкции, количеству, размерам, расположению) ребер жесткости в конструкции цистерны.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании новых и модернизации эксплуатируемых цистерн для перевозки жидких грузов автомобильным транспортом.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, цистерна, модернизация, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, конечно-элементная модель, сварное соединение, ребро жесткости, запас прочности.

(Поступила в редакцию 5 июня 2020 г.)

Введение

Опыт эксплуатации пожарных автомобилей показывает, что автоцистерны осуществляют более 80 % выездов на ликвидацию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по сравнению с количеством выездов другой техники, имеющейся в аварийно-спасательных подразделениях¹. Основное отличие пожарных автоцистерн от гражданских автомобилей, имеющих емкости для жидкостей, заключается в обеспечении при производстве повышенных требований к прочности конструкции цистерны². Согласно статистике в Республике Беларусь ежегодно происходит более 3000 пожаров в сельской местности и более 1000 возгораний в природных экосистемах, что составляет порядка 60 % и 20 % соответственно от общего числа чрезвычайных ситуаций³. Проведенные исследования подтверждают, что при форсированном режиме движения пожарных автомобилей максимальная скорость в 1,3–1,5 раза больше по сравнению с иными транспортными средствами, а водители для обеспечения безопасности вынуждены тормозить в 3–5 раз чаще [1; 2]. Движение пожарной автоцистерны к месту чрезвычайной ситуации нередко вынужденно происходит при отсутствии ровного дорожного покрытия. При таком режиме эксплуатации

¹ Концепция оснащения подразделений по чрезвычайным ситуациям пожарной аварийно-спасательной техникой / В.А. Казябо, Ю.И. Шавель, И.Н. Гончаров: НИИ ПБ и ПЧС: сборник отчетов о НИР. – С. 4–9.

² Сведения о чрезвычайных ситуациях // МЧС Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs/>. – Дата доступа: 16.09.2019.

³ О пожарах с начала 2019 года // Новости [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.belta.by/society/view/bolee-600-pozharov-proizoshlo-v-prirodnyh-ekosistemah-belarusi-s-nachala-goda-342704-2019/>. – Дата доступа: 16.09.2019.

конструкция цистерны испытывает большие динамические нагрузки, передаваемые от колебаний жидкости и через раму шасси от рельефа местности. В результате происходит нарушение герметичности цистерны по причине появления трещин в местах ее угловых сварных соединений.

Результаты анализа проводимых ремонтов аварийно-спасательной техники производственно-техническими центрами Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь показали, что одной из причин вывода техники их боевого расчета является нарушение герметичности цистерн пожарных автомобилей по причине появления течи [3]. Устранение возникающих повреждений цистерн требует большого объема подготовительных и ремонтных работ: транспортировка и доставка в производственно-технический центр, работы по демонтажу и монтажу, проведение необходимых сварочных работ, использование ремонтных материалов, что ведет к простоя и снижению боевой готовности техники в течение продолжительного периода времени. Одним из путей решения данной проблемы является научно обоснованное изменение конструкции цистерны, в том числе за счет оптимизации количества, формы и размеров ребер жесткости, обеспечивающих повышение ее надежности и прочности. Однако определение необходимых геометрических параметров ребер жесткости и выбор мест их установки при минимальном увеличении массы пожарного автомобиля является весьма сложной технической задачей. Таким образом, цель работы состояла в модернизации эксплуатируемых цистерн пожарных автомобилей для повышения эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода.

Основная часть

Методика исследований. Объектом исследований выбрана пожарная автоцистерна пятитонного водоизмещения на шасси МАЗ-5337 – одна из наиболее распространенных моделей на территории Республики Беларусь и уже вышедшая из гарантийного периода обслуживания. Для достижения поставленной цели работы применен методологический подход, включающий работы по экспериментальному определению возникающих виброускорений на стенках цистерн, а также разработку и расчет конечно-элементных моделей в программном комплексе ANSYS⁴. Порядок проведения испытаний и компьютерного моделирования представлен в работах [3; 4]. Для оценки и прогнозирования прочностных характеристик цистерн были проведены исследования при различных эксплуатационных режимах движения пожарных автомобилей: режим 1 – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 км/ч; режим 2 – движение по проселочной дороге с неровностями со скоростью 20–30 км/ч; режим 3 – выезд с разворотом на скорости 10–15 км/ч; режим 4 – ускорение с места до скорости 30 км/ч и торможение. Расчет конечно-элементной модели цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 позволил установить области в конструкции, которые подвержены наибольшему нагружению: область 1 – угловые соединения стенок; область 2 – торцевые соединения волноломов и стенок; область 3 – нахлесточные соединения ребер жесткости и боковых стенок; область 4 – угловые соединения передней, задней стенок и дна. Данные области сварных соединений приняты контрольными в дальнейшем расчете. Данные области приняты контрольными и указывают на сварные соединения элементов конструкции цистерн. На рисунке 1а представлены максимальные значения эквивалентных напряжений по Мизесу в контрольных областях цистерны при различных режимах движения пожарного автомобиля. Полученные результаты коррелируют с информацией, предоставленной производственно-техническими центрами, осуществляющими ремонт цистерн данного типа.

⁴ Методика динамического моделирования напряженно-деформированного состояния элементов и узлов конструкций оболочечного типа. – Гомель: ГФ УГЗ МЧС РБ, 2017. – 10 с. – 24.07.2017.

На рисунке 1б представлены соответствующие значения коэффициента запаса прочности, что позволяет судить об эксплуатационной надежности цистерны и способности выдерживать нагрузки выше расчетных значений. При этом необходимо отметить, что рекомендованные значения коэффициентов запаса прочности для пожарных автоцистерн в литературе отсутствуют [1; 5–7], а их выбор осуществляется на основании опыта эксплуатации аналогичных изделий и составляет 1,7–1,8. При определении допустимых напряжений для сварных швов используется понижающий коэффициент $\varphi = 0,80–0,85$, который учитывает то, что в околошовной зоне снижаются механические характеристики основного металла [8; 9].

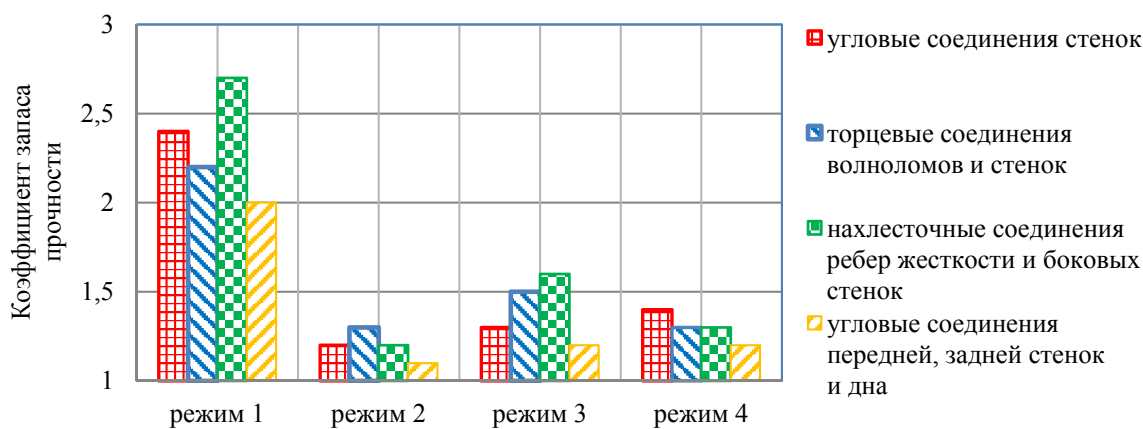
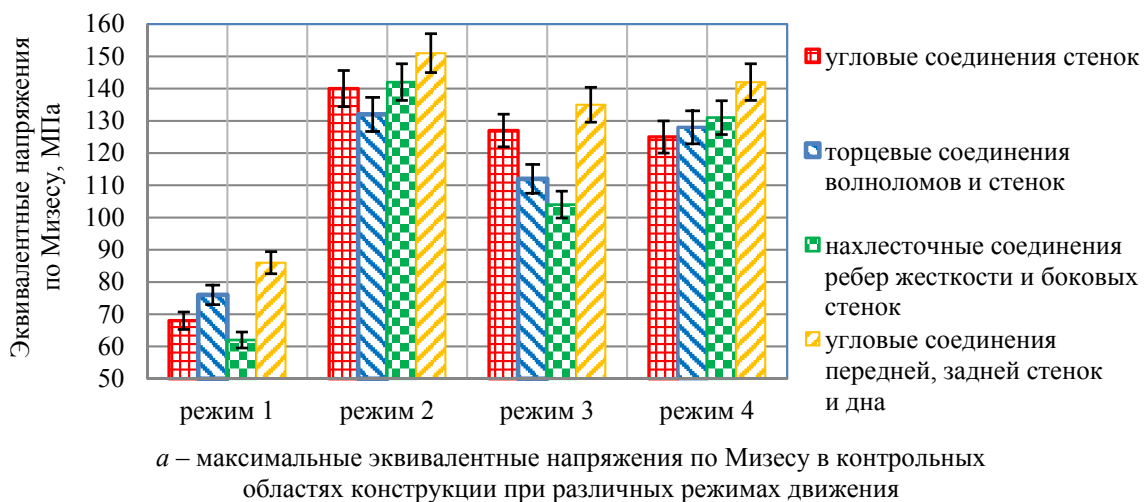


Рисунок 1. – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния серийной цистерны пожарного автомобиля

Анализ результатов расчета позволил установить, что наибольшие эквивалентные напряжения по Мизесу в конструкции цистерны возникают при режиме 2 движения пожарного автомобиля, при этом коэффициент запаса прочности составляет 1,1–1,3.

Результаты исследований. Для повышения эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода эксплуатируемых цистерн пожарных автомобилей проведены проектные расчеты, позволившие разработать способы их модернизации. Исследования проведены для случая движения пожарного автомобиля по проселочной дороге с неровностями со скоростью 20–30 км/ч, при котором зафиксированы наибольшие значения возникающих напряжений в конструкции цистерны. Результаты позволили снизить напряженно-деформированное состояние угловых сварных соединений передней, задней стенок

и дна цистерны. Предложены различные варианты изменений в конструкции. Для наглядности предлагаемых изменений на рисунке 2а представлена 3D-модель серийной цистерны пожарного автомобиля с указанием фрагмента «А» – вид изнутри углового сварного соединения передней, боковой стенок и дна. В целях полного и достаточного анализа распределения полей эквивалентных напряжений на рисунке 2б представлена конечно-элементная модель цистерны с указанием фрагмента «А*» – вид снаружи углового сварного соединения передней стенки и дна.

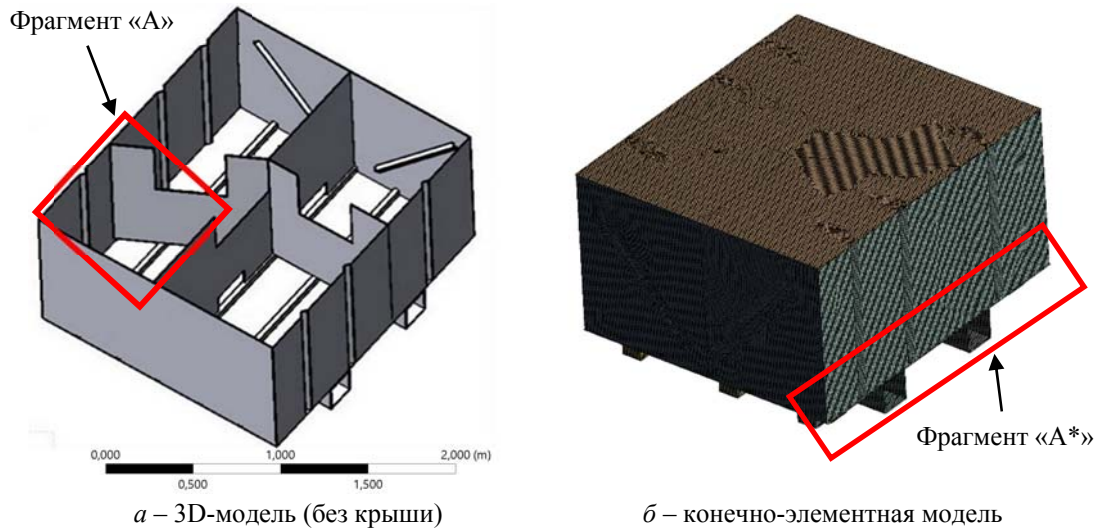


Рисунок 2. – 3D-модели серийной цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337

На рисунке 3а представлена 3D модель серийной цистерны, а на рисунке 3б 3D-модель модернизированной цистерны. В качестве элемента модернизации конструкции предложена дополнительная установка восьми профилей равнополочных П-образного сечения размерами 50 × 50 × 3 мм (двух длиной 300 мм, четырех – 400 мм, двух – 780 мм), закрепленных на дне цистерны на расстоянии 15–20 мм от угловых сварных соединений передней, задней стенок и дна (рис. 3в, 3г). В качестве альтернативного решения предложена установка восьми уголков равнополочных размерами 50 × 3 мм (двух длиной 300 мм, четырех – 400 мм, двух – 780 мм), закрепленных сварными соединениями с передней, задней стенками и дном (рис. 3д, 3е).

На рисунке 4а представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния конечно-элементной модели серийной цистерны пожарного автомобиля, а на рисунках 4б и 4в – результаты расчета модернизированной цистерны пожарного автомобиля.

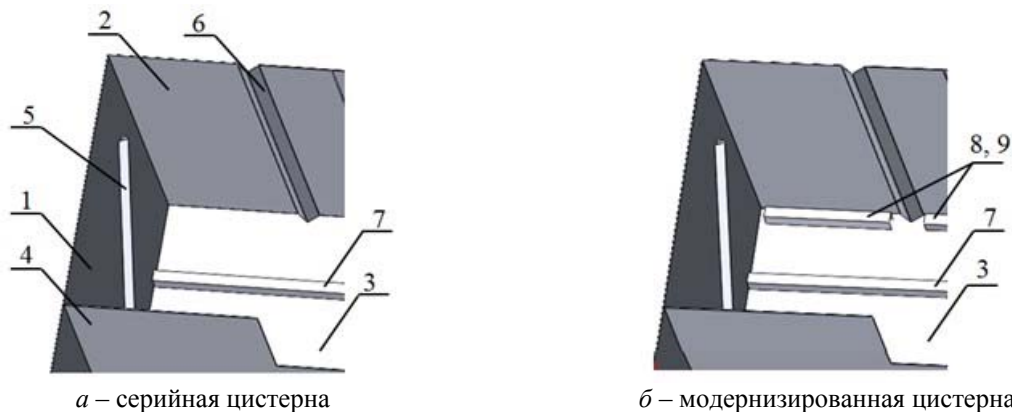
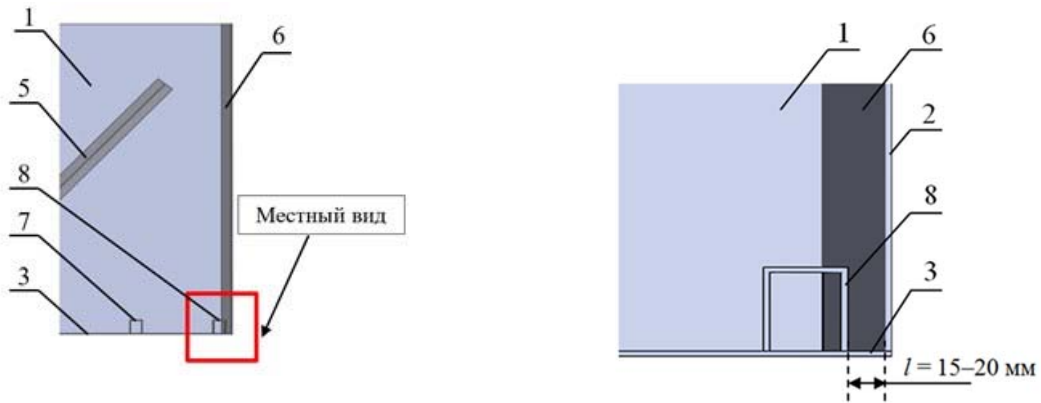


Рисунок 3. – 3D-модели серийной и модернизированной цистерны пожарного автомобиля (фрагмент «А»): 1 – боковая стенка; 2 – передняя стенка; 3 – дно; 4 – продольный волнолом; 5 – ребро жесткости на боковой стенке; 6 – ребро жесткости на передней стенке; 7 – профиль П-образного сечения; 8 – дополнительный профиль П-образного сечения; 9 – дополнительный уголок



в – вид сбоку модернизированной цистерны с установкой профилей П-образного сечения

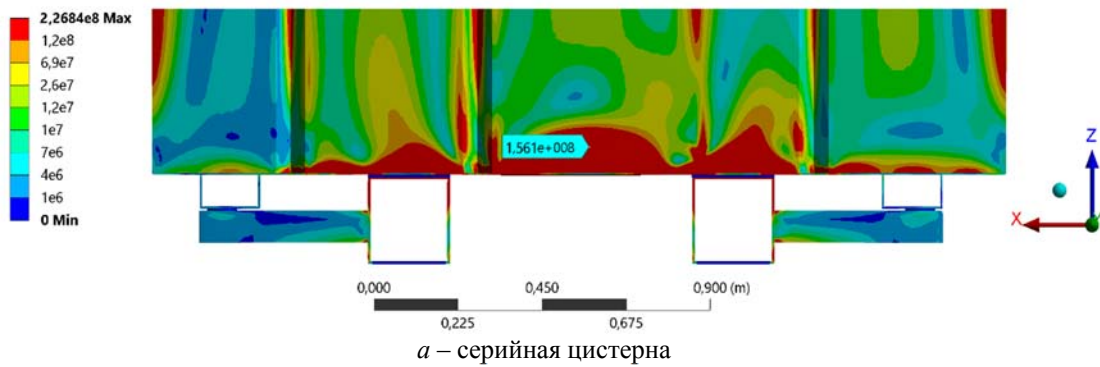
г – местный вид модернизированной цистерны с установкой профилей П-образного сечения



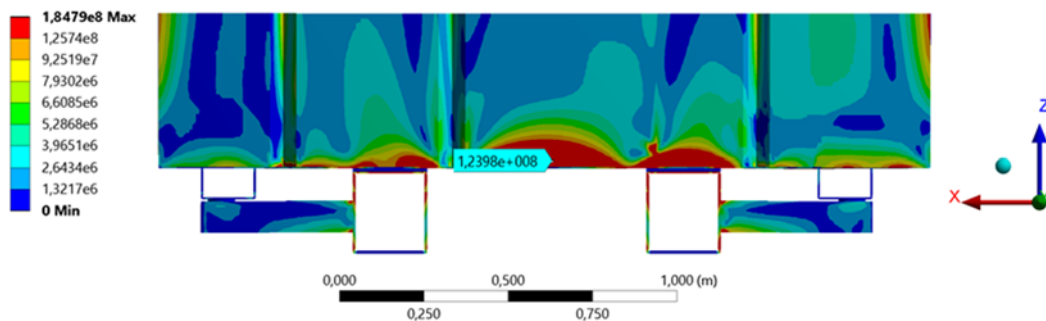
д – вид сбоку модернизированной цистерны с установкой уголков

е – местный вид модернизированной цистерны с установкой уголков

Рисунок 3. – 3D-модели серийной и модернизированной цистерны пожарного автомобиля (фрагмент «А»)



а – серийная цистерна



б – модернизированная цистерна с установкой профилей П-образного сечения

Рисунок 4. – Результаты расчета моделей цистерн пожарных автомобилей: распределение полей эквивалентных напряжений по Мизесу в конструкции (фрагмент «А*»), Па

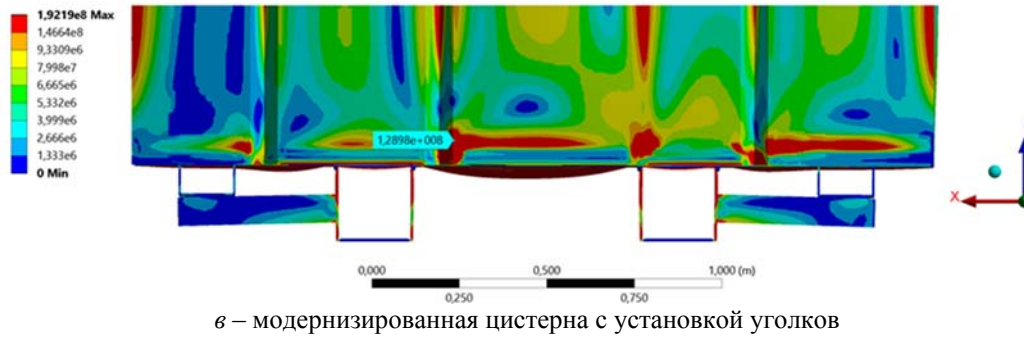


Рисунок 4. – Результаты расчета моделей цистерн пожарных автомобилей: распределение полей эквивалентных напряжений по Мизесу в конструкции (фрагмент «А*»), Па

На рисунке 5 представлен сравнительный анализ максимальных значений эквивалентных напряжений по Мизесу в областях угловых сварных соединений цистерны пожарного автомобиля от вида устанавливаемых элементов при модернизации. В результате было показано, что дополнительная установка восьми профилей равнополочных П-образного сечения размерами $50 \times 50 \times 3$ мм (двух длиной 300 мм, четырех – 400 мм, двух – 780 мм), закрепленных на дне цистерны на расстоянии 15–20 мм от углового сварного соединения передней, задней стенок и дна позволяет снизить эквивалентные напряжения по Мизесу в этих областях сварных соединений на 32–41 МПа, а также в областях угловых сварных соединений стенок на 12–20 МПа.

В работах [10; 11] представлен анализ ранее полученных результатов исследований и обоснование способов модернизации цистерны объемом 5 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337:

- дополнительная установка четырех косынок в виде полосы размерами $900 \times 150 \times 3$ мм в вертикальной плоскости под углом 45° к находящимся в контакте стенкам позволяет снизить эквивалентные напряжения по Мизесу в областях их угловых сварных соединений на 29–36 МПа;

- увеличение длины на 250 мм в верхней и нижней части четырех ребер жесткости, выполненных в виде уголка равнополочного размерами $1200 \times 6 \times 3$ мм и закрепленных на боковых стенках под углом 45° , позволяет снизить эквивалентные напряжения по Мизесу в областях угловых сварных соединений стенок на 9–19 МПа, торцевых сварных соединений волноломов к стенкам на 19–28 МПа, а также нахлесточных сварных соединений ребер жесткости к боковым стенкам на 61–69 МПа.

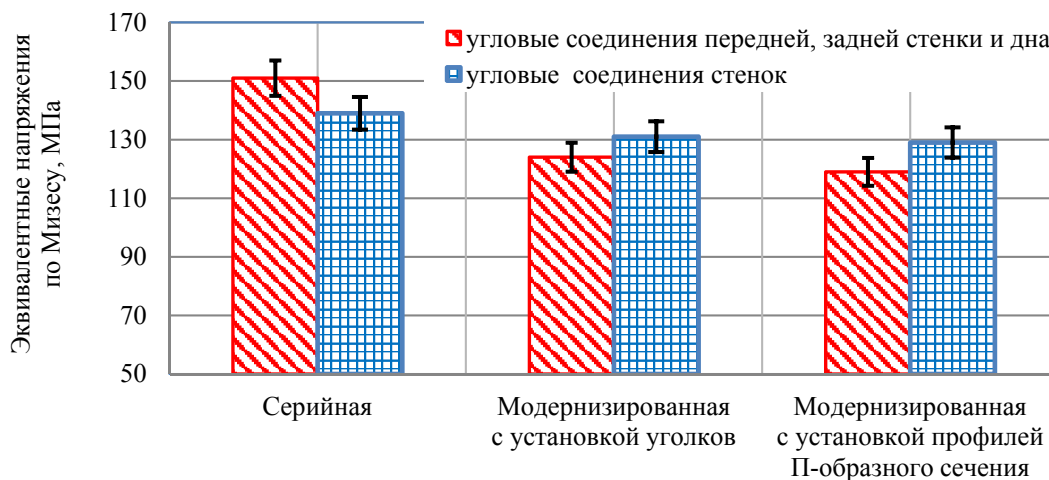


Рисунок 5. – Эквивалентные напряжения по Мизесу в областях угловых соединений исследуемых конструкций цистерн

На основании результатов проведенных исследований разработана 3D-модель модернизированной цистерны объемом 5 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337, в которой комплексно реализованы предлагаемые изменения в конструкции. Ее конечно-элементная модель содержит 392 576 узлов и 335 240 элементов. В целях оценки достаточности и эффективности предлагаемых способов модернизации цистерны выполнен сравнительный расчет напряженно-деформированного состояния конечно-элементных моделей серийной и модернизированной цистерн пожарных автомобилей. Анализ распределения полей эквивалентных напряжений в модернизированной цистерне позволил установить значительное снижение уровня максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу, возникающих в конструкции: в модернизированной цистерне $\sigma_{\max} = 184$ МПа, в серийной $\sigma_{\max} = 227$ МПа (рис. 6).

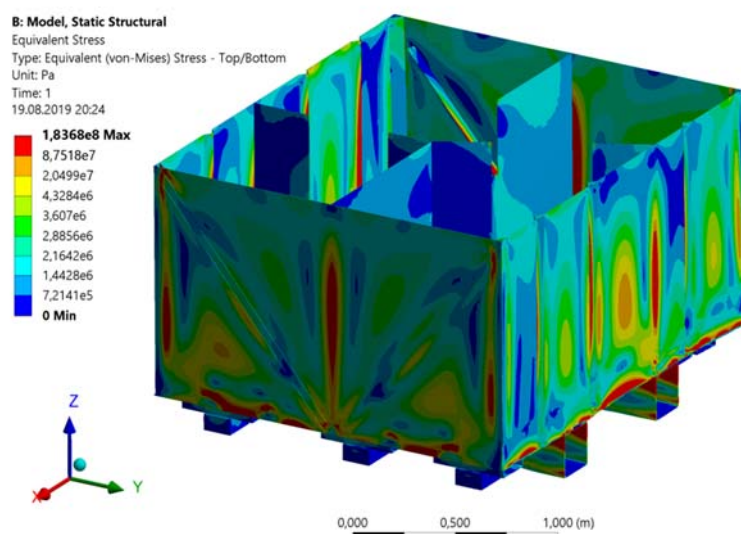
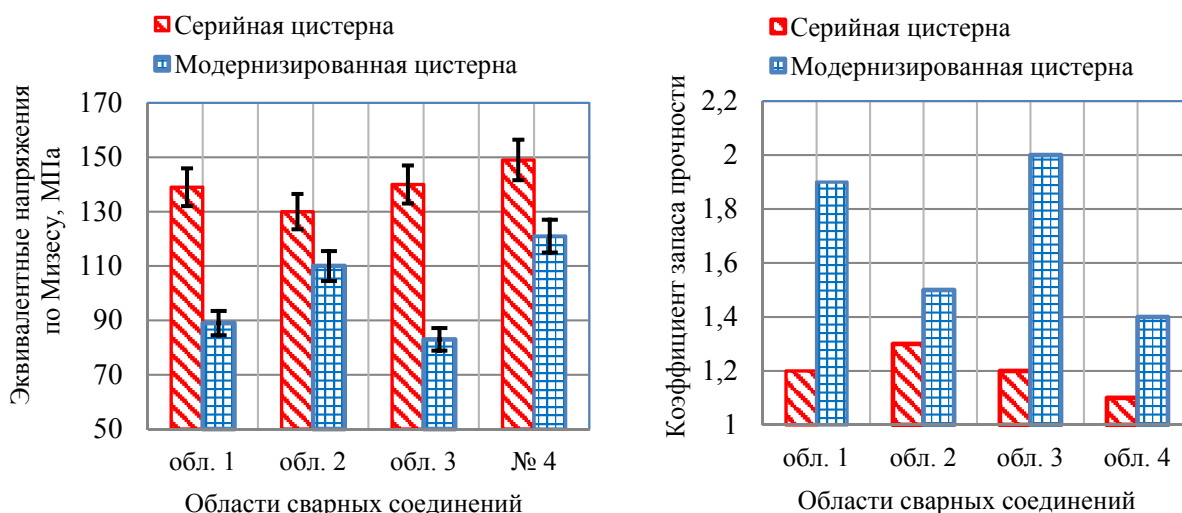


Рисунок 6. – Результаты расчета конечно-элементной модели модернизированной цистерны пожарного автомобиля: распределение полей эквивалентных напряжений в конструкции, Па

На рисунке 7 представлен сравнительный анализ максимальных значений эквивалентных напряжений по Мизесу и коэффициента запаса прочности в контрольных областях сварных соединений серийной и модернизированной цистерн пожарных автомобилей.



а – максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в контрольных областях конструкции

б – коэффициент запаса прочности в контрольных областях конструкции

Рисунок 7. – Результаты расчета напряженно-деформированного состояния серийной и модернизированной цистерны пожарного автомобиля

В результате установлено значительное уменьшение значений эквивалентных напряжений во всех контрольных областях модернизированной конструкции. При этом комплексная практическая реализация разработанных способов модернизации цистерны обеспечила увеличение запаса прочности ее конструкции.

Результаты научных исследований использованы при проведении капитального ремонта четырех цистерн объемом 5 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337, эксплуатируемых в районных отделах по чрезвычайным ситуациям Гомельской области Республики Беларусь. Конструкция модернизирована с целью повышения их эксплуатационной надежности и увеличения межремонтного периода. Проведены осмотры технического состояния модернизированных цистерн пожарных автомобилей с применением метода неразрушающего контроля⁵. Для этого использовался комплект визуального инспекторского контроля ВИК-1, который применяется в измерительной диагностике сварных соединений конструкций, находящихся в эксплуатации [12]. Контроль качества сварочных работ осуществлялся непосредственно после модернизации цистерн пожарных автомобилей на наличие таких дефектов сварных соединений, как трещина, свищ, непровар, прожог, неметаллические и шлаковые включения, линейное и угловое смещение, несплавление⁶. На основании ежегодных осмотров модернизированных цистерн пожарных автомобилей в аварийно-спасательных подразделениях, эксплуатирующих данную технику, было установлено, что практическое применение разработанных способов модернизации позволило повысить эксплуатационную надежность конструкции цистерн и увеличить их межремонтный период в 1,5–2 раза, о чем свидетельствует отсутствие ремонтов по причине течи.

Заключение

Разработаны конечно-элементные модели цистерн, позволяющие оценить их напряженно-деформированное состояние и прочностные свойства в условиях оперативного движения пожарного автомобиля к месту ликвидации чрезвычайной ситуации. Установлены зависимости влияния геометрических параметров элементов цистерн пожарных автомобилей на формирование и распределение полей эквивалентных напряжений в конструкции. Проведен комплекс исследований, позволивших разработать способы модернизации цистерн, обеспечившие снижение напряженно-деформированного состояния в областях сварных соединений конструкции, в частности, в угловых сварных соединениях стенок на 36 %, торцевых сварных соединениях волноломов к боковым стенкам на 15 %, нахлесточных сварных соединениях ребер жесткости к боковым стенкам на 41 %, а также угловых сварных соединениях стенок и дна на 19 %. Результаты практического использования модернизированных цистерн пожарных автомобилей подтверждают, что разработка позволила увеличить их межремонтный период в 1,5–2 раза.

Таким образом, проведение подробного анализа результатов компьютерного моделирования еще на стадии проектирования позволяет оценить и спрогнозировать состояние расчетной конструкции в зависимости от различных режимов эксплуатации, а также дает возможность разрабатывать необходимые конструкционные изменения. Используемый методологический подход компьютерного моделирования, основанный на научно обоснованных подходах к прогнозированию состояния конструкций пожарных автоцистерн, может быть использован для решения задач по повышению эксплуатационной надежности различных емкостей для перевозки жидкости.

⁵ Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712-2018. – Введ. 01.07.17. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 32 с.

⁶ Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определение: ГОСТ 30242-97. – Введ. 01.07.97. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шимановский, А.О. Колебания и устойчивость автомобильных и железнодорожных цистерн, перевозящих жидкие грузы: дис. ... д-ра техн. наук: 01.02.06 / А.О. Шимановский. – Гомель, 2011. – 296 с.
2. Кулаковский, Б.Л. Исследование устойчивости пожарной автоцистерны против заноса при торможении / Б.Л. Кулаковский // Вестник Ком.-инж. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2010. – № 1 (11). – С. 73–84.
3. Короткевич, С.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / С.Г. Короткевич, В.А. Ковтун // Вестник Воронежского ин-та ГПС МЧС России. – 2017. – № 4 (25). – С. 45–51.
4. Ковтун, В.А. Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич, В.А. Жаранов // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81.
5. Безбородько, М.Д. Пожарная техника: учебник / М.Д. Безбородько [и др.]; под ред. М.Д. Безбородько. – 3-е изд. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 580 с.
6. Блинкова, А.Ю. Математическое моделирование волновых процессов в вязкоупругих оболочках и оболочках с конструкционным демпфированием, взаимодействующих с вязкой жидкостью: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.02.04 / А.Ю. Блинкова; СГТУ. – Саратов, 2015. – 20 с.
7. Kolaei, A. A coupled multimodal and boundary-element method for analysis of anti-slosh effectiveness of partial baffles in a partly-filled container / A. Kolaei, S. Rakheja, M.J. Richard // Computers & Fluids. – 2015. – Vol. 107. – P. 43–58. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.10.013.
8. Глинкин, С.А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / С.А. Глинкин; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. – 107 с.
9. Демидов, С.П. Теория упругости: учебник / С.П. Демидов. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.
10. Ковтун, В.А. Оптимизация конструкции цистерны пожарного автомобиля АЦ-5.0-50/4 на базе шасси МАЗ-5337 методом компьютерного моделирования / В.А. Ковтун [и др.] // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 38–45. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.
11. Короткевич, С.Г. Эксплуатационная надежность цистерн пожарных автомобилей: модернизация стальных конструкций в целях повышения их механических характеристик / С.Г. Короткевич, В.А. Ковтун // Вестник ПГУ. Серия В. – 2019. – № 3. – С. 90–94.
12. Калиниченко, Н.П. Визуальный и измерительный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.

Исследование влияния геометрических параметров элементов конструкции цистерны на ее прочностные характеристики при модернизации пожарных автомобилей

Research of the geometric parameters influence of tank constructional elements on its strength characteristics at modernization of fire-fighting trucks

Ковтун Вадим Анатольевич

доктор технических наук, профессор

Гомельский филиал государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра оперативно-тактической деятельности и техники, профессор

Адрес: ш. Речицкое, 65А,
246023, г. Гомель, Беларусь

e-mail: vadimkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9510-132X

Vadim A. Kovtun

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Gomel Branch of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Operational-tactical Activity and Technical Equipment, Professor

Address: sh. Rechitskoe, 65A,
246023, Gomel, Belarus

e-mail: vadimkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9510-132X

Короткевич Сергей Геннадьевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра промышленной безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9388-0881

Sergey G. Korotkevich

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Industrial Safety, Lecturer

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus

e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9388-0881

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.316>

RESEARCH OF THE GEOMETRIC PARAMETERS INFLUENCE OF TANK CONSTRUCTIONAL ELEMENTS ON ITS STRENGTH CHARACTERISTICS AT MODERNIZATION OF FIRE-FIGHTING TRUCKS

Kovtun V.A., Korotkevich S.G.

Purpose. Modernization of operating fire trucks' tanks in order to increase operational reliability and to enhance the turnaround period.

Methods. The research was carried out using the ANSYS software package.

Findings. The estimated finite element models of tanks have been developed. They allow recognizing the nature of the liquid dynamic impact on the walls under various modes of firefighting engine movement, predicting the places of probable structural failure and justifying changes in the structure. The dependences of the geometric parameters influence of tank elements on its stress-strain state and strength properties during operation are established. The results of the theoretical substantiation of the optimal effectiveness of stiffeners usage (according to the criteria of construction safety margin, amount, size, location) in the tank structure are presented.

Application field of the research. The results of the research can be applied in the design of new and modernization of existing tanks for the transportation of liquid cargo by road.

Keywords: fire truck, tank, modernization, stress-strain state, computer modelling, finite element model, welded joint, stiffener, margin of safety.

(The date of submitting: June 5, 2020)

REFERENCES

1. Shimanovskiy A.O. *Kolebaniya i ustoychivost' avtomobil'nykh i zheleznodorozhnykh tsistern, perevozyashchikh zhidkie gruzy* [Fluctuations and stability of automobile and railway tanks carrying liquid cargo]: Grand PhD tech. sci. diss.: 01.02.06. Gomel, 2011. 296 p. (rus)
2. Kulakovskiy B.L. Issledovanie ustoychivosti pozharnoy avtotstisterny protiv zanosa pri tormozhenii [Investigation of the stability of a fire truck against skidding under braking]. *Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2010. No. 1 (11). Pp. 73–84. (rus)
3. Korotkevich S.G., Kovtun V.A. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya konstrukcij cistern pozharnykh avtomobilej [The research of strain-stress state of fire trucks tanks construction]. *Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the Emergencies Ministry of Russia*, 2017. No. 4 (25). Pp. 45–51. (rus)
4. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Zharanov V.A. Komp'yuternoe modelirovanie i issledovanie naprjazhjonno-deformirovannogo sostojaniya konstrukcij cistern pozharnykh avtomobilej [Computer simulation and research of the stress-strain state of fire truck tank construction]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 81–90. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81.
5. Bezborod'ko M.D., Aleshkov M.V., Tsarichenko S.G. *Pozharnaya tekhnika* [Fire fighting equipment]: textbook. Ed. by M. D. Bezborod'ko. 3rd ed. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2015. – 580 p. (rus)
6. Blinkova A.Yu. *Matematicheskoe modelirovanie volnovykh protsessov v vyazkouprugikh obolochkakh i obolochkakh s konstruktsionnym dempfirovaniem, vzaimodeystvuyushchikh s vyazkoy zhidkost'yu* [Mathematical modeling of wave processes in viscoelastic shells and shells with structural damping interacting with a viscous fluid]: PhD tech. sci. diss. synopsis: 01.02.04. Saratov, 2015. 20 p. (rus)
7. Kolaei A., Rakheja S., Richard M.J. A coupled multimodal and boundary-element method for analysis of anti-slosh effectiveness of partial baffles in a partly-filled container. *Computers & Fluids*, 2015. Vol. 107. Pp. 43–58. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.10.013.
8. Glinkin S.A. *Raschet detaley porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Calculation of the details of piston internal combustion engine]: tutorial. Ed. by S.A. Glinkin. Vladimir State University. Vladimir: Izdatel'stvo VIGU, 2013. 107 p. (rus)
9. Demidov S.P. *Teoriya uprugosti* [Elasticity theory]: textbook. Moscow: Vysshaya shkola, 1979. 432 p. (rus)
10. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Pasovets V.N., Todorov I. Optimizatsiya konstruktsii tsisterny pozharnogo avtomobilya AC-5.0-50/4 na baze shassi MAZ-5337 metodom komp'yuternogo modelirovaniya

[Operational safety improvement of the fire truck's tank AC-5.0-50/4 based on the chassis MAZ-5337 by the method computer modeling]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 38–45. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.

11. Korotkevich S.G., Kovtun V.A. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' tsistern pozharnykh avtomobiley: modernizatsiya stal'nykh konstruktsiy v tselyakh povysheniya ikh mekhanicheskikh kharakteristik [Operational reliability of fire tank cars: modernization of steel structures in order to increase their mechanical characteristics]. *Vestnik of PSU. Series B*, 2019. No. 3. P. 97–101. (rus)
12. Kalinichenko N.P., Kalinichenko A.N. *Vizual'nyy i izmeritel'nyy kontrol'* [Visual and measuring control]: tutorial for the training of specialists of I, II and III levels. Tomsk: Tomsk Politechnic University, 2009. 300 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.328>

УДК 532.59+627.8

ОБ ИНТЕГРИРОВАНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПОСТЕПЕННО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ПРИ ПРОРЫВЕ ПЛОТИНЫ

Стриганова М.Ю., Шаталов И.М., Самедов С.А.,
Щербакова М.К., Недашковская И.В., Рабченя В.С.

Цель. Выбор научно-технически обоснованного метода интегрирования уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины.

Методы. Методы приближенного интегрирования дифференциальных уравнений.

Результаты. Предложено использование конечно-разностного метода интегрирования дифференциальных уравнений (метода характеристических уравнений С.А. Христиановича) для неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения в условиях высокогорья при прорыве плотины.

Область применения исследований. Предложенное решение уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения в условиях высокогорья при прорыве плотин можно использовать при решении практических задач по определению основных параметров волны перемещения и зон вредного воздействия на прилегающую к высокогорью территорию.

Ключевые слова: плотина, высокогорье, неустановившееся движение, волна перемещения, параметры волны, скорость потока (волны), глубина потока (волны), время перемещения, длина распространения.

(Поступила в редакцию 2 июня 2020 г.)

Введение

Решение задачи о неустановившемся движении потока жидкости в открытом русле, как правило, заключается в интегрировании системы двух уравнений: уравнения баланса расхода (т. е. уравнения неразрывности постепенно или плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле) и уравнения динамического равновесия (т. е. дифференциального уравнения постепенно или плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле).

В работе [1] эта система уравнений представлена в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \\ (i - A Q^2) g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \end{cases} \quad (1)$$

где Q – объемный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; ω – площадь живого сечения, м^2 ; v – средняя скорость, $\text{м}/\text{с}$; l – длина рассматриваемого участка, м ; t – момент времени, с ; i – уклон свободной поверхности воды; A – удельное сопротивление русла, $\text{с}^2/\text{м}^2$; AQ^2 – уклон трения $i_{\text{тр}}$; B – ширина русла по поверхности потока, м ; α_0 – коэффициент Буссинеска; α – коэффициент Кориолиса.

Учитывая, что $Q = v\omega$, и введя обозначение $(i - AQ^2)g = E$, перепишем систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \omega \frac{\partial v}{\partial l} + v \frac{\partial \omega}{\partial l} = 0, \\ E = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \end{cases} \quad (2)$$

В результате решения системы уравнений определяются две основные функции: $Q = f_1(l, t)$ и $\omega = f_2(l, t)$. Зная эти функции, в практических расчетах можно определить основные параметры (или характеристики) потока: среднюю скорость – $v = f_3(l, t)$ и глубину – $h = f_4(l, t)$ в любом створе потока и далее построить мгновенный профиль свободной поверхности потока или волны перемещения.

Приведенная система уравнений является системой нелинейных дифференциальных уравнений гиперболического типа, обладающих двумя совокупностями характеристик.

Интегрирование системы уравнений (2) в общем случае представляет достаточно большие трудности, поэтому в инженерной практике широкое применение нашли методы приближенного интегрирования этих уравнений.

Рассмотрим один из методов решения уравнений (2) с учетом возможности использования компьютерных технологий.

Так как система уравнений (2) относится к классу уравнений гиперболического типа с двумя совокупностями характеристик, эту систему уравнений можно заменить уравнениями соответствующих им характеристик, которые могут быть решены методами приближенного интегрирования. Исследование системы уравнений неустановившегося движения потока в открытом русле и решения их методом характеристических уравнений впервые было проведено С.А. Христиановичем [2].

И.М. Бернадский, В.А. Архангельский и другие разработали методику решения дифференциальных уравнений неустановившегося движения жидкости в открытых руслах способом конечных разностей для определенных значений временных отрезков (мгновений при $t = const$). Такой метод в расчетной практике получил название метода мгновенных режимов, хотя более уместно его назвать методом мгновенных фрагментов (или ситуаций).

Основная часть

В реальных условиях высокогорья при прорыве плотины происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором наблюдается падение уровня воды в водохранилище, уменьшение расхода воды в начальном створе и увеличение расхода в конечном сечении прямой отрицательной волны перемещения [1].

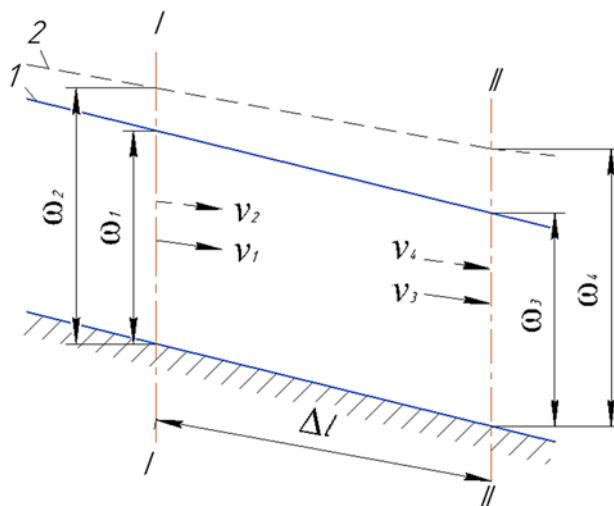
Движение воды в теле такой волны перемещения хорошо описывается двумя дифференциальными уравнениями баланса расхода и уравнением динамического равновесия [2].

Для численного (с использованием компьютерных технологий) решения системы уравнений (2) для условий высокогорья при прорыве плотины предлагается использовать метод характеристических уравнений С.А. Христиановича [2], при этом движение воды в теле волны перемещения будем считать постепенно или плавно изменяющимся.

Рассмотрим более подробно метод характеристических уравнений С.А. Христиановича, дополнив его моделированием волн на мелкой воде методом частиц [3].

На схеме движения потока (рис. 1) позиция 1 соответствует свободной поверхности в момент времени t_1 , а позиция 2 – в момент времени t_2 . Рассмотрим неустановившееся движение потока воды между сечениями I-I и II-II на бесконечно малом расстоянии Δl .

Представим неустановившееся постепенно или плавно изменяющееся движение в виде параллельных прямолинейных отрезков линий тока (см. рис. 1). Допустим, что в области решения системы уравнений (2) задан отрезок некоторой кривой линии тока функцией $l = l(t)$ и значения функций $v = v(l, t)$ и $\omega = \omega(l, t)$.



1 – начальное положение поверхности волны перемещения в момент времени t ;
2 – конечное положение поверхности волны перемещения в момент времени $t + \Delta t$

Рисунок 1. – Отрезок некоторой кривой линии тока

Тогда для каждой точки этой кривой (точки представляют собой частицы движущейся жидкости) $l = l(t)$ можно записать:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= \frac{\partial v}{\partial l} \frac{dl}{dt} + \frac{\partial v}{\partial t}, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{dl}{dt} + \frac{\partial \omega}{\partial t}, \end{aligned} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{dv}{dt} - \frac{\partial v}{\partial l} \frac{dl}{dt}, \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} &= \frac{d\omega}{dt} - \frac{\partial \omega}{\partial l} \frac{dl}{dt}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Подставив значения $\frac{\partial v}{\partial t}$ и $\frac{\partial \omega}{\partial t}$ в систему (2), после простейших преобразований будем иметь:

$$\left\{ \begin{aligned} \omega \frac{\partial v}{\partial l} + \left(v - \frac{dl}{dt} \right) \frac{\partial \omega}{\partial l} &= - \frac{d\omega}{dt}, \\ \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} &= E - \alpha_0 \frac{dv}{dt}. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Откуда легко получить

$$\left\{ \begin{aligned} \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right) \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial v}{\partial l} &= \left(E - \alpha_0 \frac{dv}{dt} \right) \left(v - \frac{dl}{dt} \right) + \frac{g}{B} \frac{d\omega}{dt}, \\ \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right) \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial \omega}{\partial l} &= - \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \alpha_0 \frac{dv}{dt} \right). \end{aligned} \right. \quad (5a)$$

В условиях высокогорья в водотоках всегда наблюдается быстрое течение воды, называемое бурным. Бурный поток движется в развитом турбулентном режиме, для которого коэффициенты Кориолиса и Буссинеска можно принимать равными 1,0. В этом случае систему уравнений (9) можно записать в более компактном виде, удобном для анализа и последующего решения.

$$\begin{cases} \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right)^2 - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial v}{\partial l} = \left(E - \frac{dv}{dt} \right) \left(v - \frac{dl}{dt} \right) + \frac{g}{B} \frac{d\omega}{dt}, \\ \left[\left(v - \frac{dl}{dt} \right)^2 - \frac{g\omega}{B} \right] \frac{\partial \omega}{\partial l} = - \left(v - \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \frac{dv}{dt} \right). \end{cases} \quad (5)$$

Системы уравнений (5_а) и (5) можно применять для расчета неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения в открытых руслах произвольной формы поперечного сечения. Такие русла называются непризматическими, и для них должно соблюдаться условие $\omega = f(l; h)$, где ω – площадь живого сечения потока; l – длина потока; h – глубина потока.

Однако в условиях высокогорья при растекании бурного потока его глубина значительно меньше его ширины B (т. е. $B \gg h$) и поперечное или живое сечение такого потока близко к прямоугольной форме. Прямоугольное сечение, равно как и любое другое сечение правильной формы (например, трапециевидное, треугольное, овальное, параболическое и т. д.) относится к призматическим руслам, для которых $\omega = f(h)$ и $\partial\omega/\partial l = 0$. Учитывая это для условий высокогорья при прорыве плотины, можем записать:

$$- \left(\alpha v - \alpha_0 \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \alpha_0 \frac{dv}{dt} \right) = 0, \quad (6_a)$$

$$- \left(v - \frac{dl}{dt} \right) \frac{d\omega}{dt} - \omega \left(E - \frac{dv}{dt} \right) = 0. \quad (6)$$

С физической точки зрения производная dl/dt является скоростью распространения фронта (тела) волны перемещения, причем эта волна перемещения имеет два направления (прямое и обратное), для определения которых можно записать следующие уравнения, приведенные в [2]:

$$\left(dl/dt \right)_1 = v + \sqrt{g\omega/B} \quad \text{и} \quad \left(dl/dt \right)_2 = v - \sqrt{g\omega/B}. \quad (7)$$

Подставив выражения (7) в уравнение (6) получим формулы для определения скоростей распространения фронта (тела) прямой и обратной волны перемещения:

$$dv = - \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega + E dt \quad \text{и} \quad dv = + \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega + E dt. \quad (8)$$

В обозначениях

$$v + \sqrt{g\omega/B} = a_1 \quad \text{и} \quad v - \sqrt{g\omega/B} = a_2 \quad (9)$$

(7) перепишется в виде

$$\left(dl/dt \right)_1 = a_1 \quad \text{и} \quad \left(dl/dt \right)_2 = a_2. \quad (10)$$

Для любого элементарного участка Δl постепенного или плавно изменяющегося движения в конечных разностях систему уравнений (10) запишем в виде:

$$\begin{cases} \Delta l_1 = a_1 \Delta t_1, \\ \Delta l_2 = a_2 \Delta t_2. \end{cases} \quad (11)$$

Уравнения системы (11) для мгновенных режимов или фрагментов времени t_1, t_2, \dots являются уравнениями прямых линий на элементарном участке кривой Δl с постоянными угловыми коэффициентами a_1 и a_2 , т. к. в любой зафиксированный момент времени общее неустановившееся движение является установившимся, при котором значения Q, ω, v являются постоянными величинами.

При интегрировании в конечных разностях в координатной плоскости (l, t) для любого заданного отрезка кривой $l = l(t)$ можно записать расчетные уравнения (11) в следующем виде:

$$\begin{cases} l_m - l_a = a_1(t_m - t_a), \\ l_m - l_b = a_2(t_m - t_b), \end{cases} \quad (12)$$

где l_a, t_a, l_b, t_b – координаты точек (частиц жидкости) в пределах кривой $l = l(t)$, в которых известны (или заданы) функции (или значения) v и ω ; l_m, t_m – неизвестные координаты точек (частиц жидкости) кривой $l = l(t)$, представляющей собой линию тока неустановившегося движения потока воды.

Представим уравнения (8) определения скоростей распространения фронта (тела) волны перемещения (прямой и обратной) в конечных разностях:

$$\begin{cases} v_m - v_a = -\sqrt{\frac{g}{B\omega}}(\omega_m - \omega_a) + E_1(t_m - t_a), \\ v_m - v_b = +\sqrt{\frac{g}{B\omega}}(\omega_m - \omega_b) + E_2(t_m - t_b), \end{cases} \quad (13)$$

где v_a, v_b и ω_a, ω_b – начальные скорости распространения и площади живого сечения волны перемещения; v_m и ω_m – текущая скорость распространения и площадь живого сечения волны перемещения (прямой и обратной).

Для решения практических задач и компьютерного моделирования неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения воды в условиях высокогорья в виде волны перемещения прямой или обратной, положительной или отрицательной наиболее применим метод конечных приращений [2]. Подобный метод был использован Томпсоном для расчета прямоугольных русел, который с некоторыми дополнениями и изменениями можно распространить на русла произвольной формы поперечного сечения.

Рассмотрим русло произвольной формы поперечного сечения (см. рис. 1). Разделим это русло на элементарные участки Δl , в пределах которых площадь живого сечения $\Delta\omega$ будет изменяться постепенно (или плавно). Рассмотрим конкретный элементарный участок, в начальном сечении которого, как и в последующих сечениях, параметры неустановившегося потока (глубины h , скорости v , площади живых сечений ω и т. д.) известны в данный момент времени t и в последующие отрезки времени Δt . Предположим, что на рисунке 1 линия 1 соответствует положению свободной поверхности волны перемещения в начальный момент времени t , а линия 2 – это положение свободной поверхности той же волны по истечении отрезка времени Δt , т. е. в момент времени $t + \Delta t$.

Определим средние значения параметров неустановившегося потока в любом его сечении для отрезка времени Δt :

$$\begin{cases} \bar{\omega} = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) / 4, \\ \bar{B} = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) / 4, \\ \bar{R} = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) / 4, \\ \bar{v} = (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) / 4, \\ \bar{C} = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) / 4, \end{cases} \quad (14)$$

где ω – площадь живого сечения, м²; v – средняя скорость, м/с; B – ширина русла по поверхности потока, м; R – гидравлический радиус, м; C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с.

В системе уравнений (1) неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения уклон трения $i_{тр} = \Lambda Q^2$ на элементарном участке потока Δl можно выразить из уравнения Шези $i_{мп} = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}}$. С учетом того что для призматического русла $\frac{\partial \omega}{\partial l} = 0$ и $i = i_0 - \frac{\partial h}{\partial l}$,

где i_0 – уклон дна водотока, уравнение движения системы (1) представимо в виде:

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} + \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial l}, \quad (15a)$$

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} + \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l}. \quad (15)$$

Частные производные в конечных приращениях представим в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial l} &= \frac{1}{2} \left(\frac{h_3 - h_1}{\Delta l} + \frac{h_4 - h_2}{\Delta l} \right) = -\frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l}, \\ \frac{\partial v}{\partial l} &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_3 - v_1}{\Delta l} + \frac{v_4 - v_2}{\Delta l} \right) = -\frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2\Delta l}, \\ \frac{\partial Q}{\partial l} &= \frac{\partial(\omega v)}{\partial l} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_3 v_3 - \omega_1 v_1}{\Delta l} + \frac{\omega_4 v_4 - \omega_2 v_2}{\Delta l} \right) = -\frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta l}, \\ \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{h_2 - h_1}{\Delta t} + \frac{h_4 - h_3}{\Delta t} \right) = -\frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{2\Delta t}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_2 - v_1}{\Delta t} + \frac{v_4 - v_3}{\Delta t} \right) = -\frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2\Delta t}, \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} + \frac{\omega_4 - \omega_3}{\Delta t} \right) = -\frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t}. \end{aligned} \quad (16)$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – глубина потока в рассматриваемых сечениях за отрезок времени Δt ; v_1, v_2, v_3, v_4 – средние скорости за отрезок времени Δt ; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – площади живых сечений за отрезок времени Δt .

Согласно уравнениям (16) уравнения (15a) и (15) в конечных разностях примут вид:

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l} - \alpha_0 \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \alpha \bar{v} \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta l}, \quad (17a)$$

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l} - \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \bar{v} \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta l}. \quad (17)$$

Уравнение баланса расхода (или уравнение неразрывности) постепенно или плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле системы (1) в конечных приращениях согласно (16) принимает вид

$$-\frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta l} - \frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t} = 0. \quad (18)$$

Уравнения (17_а), (17) и (18) позволяют найти параметры h и v неустановившегося потока в любой отрезок времени Δt и в любых сечениях этого потока, а также построить кривую свободной поверхности волны перемещения (прямой и обратной) в условиях высокогорья при прорыве плотины.

Заключение

1. Представленный конечно-разностный метод интегрирования дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения для определенных отрезков времени $t = \text{const}$ (метод мгновенных режимов или фрагментов) является достаточно приближенным. Однако этот метод наиболее полно отвечает требованиям реальной инженерной практики и позволяет осуществить компьютерное моделирование процесса распространения волны перемещения (как прямой, так и обратной) в условиях высокогорья при прорыве плотины.

2. Предложенный метод интегрирования дифференциальных уравнений неустановившегося плавно изменяющегося движения по способу конечных разностей будет проверен экспериментально в лабораторных и природных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стриганова, М.Ю. Математическая модель пространственно изменяющегося неустановившегося движения потока при прорыве напорных и гидротехнических сооружений в условиях высокогорья / М.Ю. Стриганова [и др.] / Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 48–58. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.48.
2. Богомолов, А.И. Гидравлика / А.И. Богомолов, А.И. Михайлов; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.
3. Богомолов, С.В. Моделирование волн на мелкой воде методом частиц / С.В. Богомолов, Е.В. Захаров, С.В. Зеркаль // Математическое моделирование. – 2002. – Т. 14, № 3. – С. 103–116.

**Об интегрировании дифференциальных уравнений неустойчивого
постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле
в условиях высокогорья при прорыве плотины**

**On the integration of differential equations of unsteady gradually changing flow
in an open channel in highland conditions when a dam breaks**

Стриганова Марина Юрьевна

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: striganovam@tut.by
ORCID: 0000-0002-8100-733X

Marina Yu. Striganova

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor
Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: striganovam@tut.by
ORCID: 0000-0002-8100-733X

Шаталов Игорь Михайлович

Белорусский национальный технический
университет, кафедра гидротехнического
и энергетического строительства, водного
транспорта и гидравлики, старший
преподаватель
Адрес: пр-т Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь
e-mail: shatl19@yandex.by
ORCID: 0000-0002-5348-5318

Igor' M. Shatalov

Belarusian National Technical University,
Chair of Hydrotechnical and Power Engineering,
Water Transport and Hydraulics,
Senior Lecturer
Address: pr-t Nezavisimosti, 65,
220013, Minsk, Belarus
e-mail: shatl19@yandex.by
ORCID: 0000-0002-5348-5318

Самедов Самедага Абзар оглы

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Азербайджан, главное оператив-
ное управление, заместитель начальника
Адрес: ул. М. Мушвига, 501,
AZ1073, г. Баку, Азербайджан
e-mail: ssamedaga@yandex.by
ORCID: 0000-0002-4241-8080

Abzar S. Samedov

Ministry of Emergency Situations of the Republic
of Azerbaijan, Main Operational Department,
Deputy Head
Address: ul. M. Mushviga, 501,
AZ1073, Baku, Azerbaijan
e-mail: ssamedaga@yandex.by
ORCID: 0000-0002-4241-8080

Щербакова Мария Константиновна

Белорусский национальный технический
университет, кафедра гидротехнического
и энергетического строительства, водного
транспорта и гидравлики, старший
преподаватель
Адрес: пр-т Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь
e-mail: mk_shcherb@tut.by
ORCID: 0000-0002-8864-0517

Mariya K. Shcherbakova

Belarusian National Technical University,
Chair of Hydrotechnical and Power Engineering,
Water Transport and Hydraulics,
Senior Lecturer
Address: pr-t Nezavisimosti, 65,
220013, Minsk, Belarus
e-mail: mk_shcherb@tut.by
ORCID: 0000-0002-8864-0517

Недашковская Ирина Васильевна

Белорусский национальный технический университет, управление подготовки научных кадров высшей квалификации, методист

Адрес: пр-т Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь

e-mail: nedash19@yandex.by

ORCID: 0000-0002-7059-9122

Irina V. Nedashkovskaya

Belarusian National Technical University,
Department for the Training of Scientific
Personnel of Higher Qualification, Methodologist

Address: pr-t Nezavisimosti, 65,
220013, Minsk, Belarus

e-mail: nedash19@yandex.by

ORCID: 0000-0002-7059-9122

Рабченя Виктория Сергеевна

Белорусский национальный технический университет, факультет энергетического строительства, студент

Адрес: пр-т Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь

e-mail: rabash19@yandex.by

ORCID: 0000-0002-9350-1693

Viktoriya S. Rabchenya

Belarusian National Technical University,
Department of Energy Construction,
Student

Address: pr-t Nezavisimosti, 65,
220013, Minsk, Belarus

e-mail: rabash19@yandex.by

ORCID: 0000-0002-9350-1693

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.328>

ON THE INTEGRATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF UNSTEADY GRADUALLY CHANGING FLOW IN AN OPEN CHANNEL IN HIGHLAND CONDITIONS WHEN A DAM BREAKS

Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Samedov S.A.,
Shcherbakova M.K., Nedashkovskaya I.V., Rabchenya V.S.

Purpose. The choice of a scientifically and technically substantiated method for integrating the equations of unsteady gradually changing flow movement in an open channel in highland conditions when a dam breaks.

Methods. Approximate integration methods for differential equations.

Findings. The use of the finite-difference method for integrating differential equations (method of characteristic equations of S.A. Khristianovich) is proposed for unsteady gradually changing flow in highland conditions when a dam breaks.

Application field of research. The proposed solution of the equations of unsteady gradually changing movement in highland conditions when breaking dams can be used to solve practical problems in determining the main parameters of the displacement wave and the zones of harmful effects on the territory adjacent to the high mountains.

Keywords: dam, highland, unsteady movement, displacement wave, wave parameters, flow velocity (waves), flow depth (waves), displacement time, propagation length.

(The date of submitting: June 2, 2020)

REFERENCES

1. Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Samedov S.A., Nedashkovskaya I.V., Rabchenya V.S. Matematicheskaya model' prostranstvenno izmenyayushchegosya neustanovivshegosya dvizheniya potoka pri proryve napornykh i gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v usloviyakh vysokogor'ya [Mathematical model of a spatially variable unstable flow motion at the breakthrough of hydrotechnical structures under the conditions of highland]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4. No. 1. Pp. 48–58. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.48.
2. Bogomolov A.I., Mikhaylov K.A. *Gidravlika* [Hydraulics]. Moscow: Stroyizdat, 1972. 648 p. (rus)
3. Bogomolov S.V., Zakharov E.V., Zerkal' S.V. Modelirovanie voln na melkoy vode metodom chastits [The shallow water wave simulating by particle method]. *Matematicheskoe modelirovanie*, 2002. Vol. 14. No. 3. Pp. 103–116. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.338>

УДК 355.58«1941/1945»

МЕСТНАЯ ПРОТИВОВОЗДУШНАЯ ОБОРОНА: ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Хроколов В.А., Субботин М.Н.

Цель. Анализ состояния системы местной противовоздушной обороны (МПВО) накануне и в годы Великой Отечественной войны, изучение роли МПВО в обеспечении защиты мирного населения в годы войны.

Методы. Общенаучные методы исследования: анализ и синтез, сравнение и обобщение.

Результаты. Уточнены предпосылки возникновения МПВО, конкретизирован процесс развития МПВО накануне и годы ВОВ, уточнена деятельность МПВО по защите населения от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие их, определена роль МПВО в восстановлении народного хозяйства.

Область применения исследований. Результаты могут быть использованы в ходе проведения подготовки специалистов в сфере защиты от чрезвычайных ситуаций, а также для ознакомления с деятельностью МПВО в годы ВОВ и ее роли в развитии ГО.

Ключевые слова: местная противовоздушная оборона, война, защитные сооружения, воздушное нападение, аварийно-восстановительные работы, аварийно-спасательные работы, пожар, гражданская оборона.

(Поступила в редакцию 25 мая 2020 г.)

Введение

На современном этапе развития гражданская оборона (ГО) является составной частью оборонных мероприятий Республики Беларусь по подготовке к защите и защите населения от опасностей, возникающих в ходе ведения военных действий или вследствие их.

Рассматривая роль ГО в обеспечении безопасности населения в ходе ведения военных действий, необходимо обратить внимание на то, что до 1961 г. на территории СССР, в состав которого входила и Белорусская ССР, ГО как таковой не существовало. В то же время в годы первой мировой войны, а впоследствии и Великой Отечественной войны возникла острая необходимость защиты мирного населения и объектов экономики от нападения противника не только в прифронтовой полосе, но и в глубоком тылу.

Еще В.И. Ленин отмечал, что «для ведения войны по-настоящему необходим крепкий организованный тыл. Самая лучшая армия, самые преданные делу революции люди будут немедленно истреблены противником, если они не будут в достаточной степени вооружены, снабжены продовольствием, обучены» [1]. Следовательно, для того, чтобы нарушить способность вооруженных сил к ведению эффективных боевых действий, необходимо дезорганизовать тыл.

Впервые возможность целенаправленно дезорганизовать тыл появилась с развитием вооружения и появлением авиации в годы мировой войны 1914–1918 гг. Это вызвало необходимость обеспечения защиты от ударов с воздуха крупных городов и промышленных объектов, что привело к созданию системы МПВО, опирающейся на местное население городов.

Анализируя задачи, стоящие перед МПВО и современной ГО [2], представленные в таблице 1, нетрудно заметить, что они схожи.

Принимая во внимание практически полную идентичность задач, стоящих перед МПВО и современной ГО, представляется важным рассмотрение вопросов становления и развития МПВО накануне и в годы Великой Отечественной войны, ее роли в обеспечении безопасности мирного населения, устойчивого функционирования экономики в годы войны.

Таблица 1. – Задачи МПВО и ГО

Задачи МПВО	Задачи ГО (аналогичные задачам МПВО)
Предупреждение населения об угрозе воздушного нападения	Оповещение населения, государственных органов и иных организаций об опасностях, возникающих (возникших) при ведении военных действий
Осуществление маскировки населенных пунктов и объектов народного хозяйства от нападения с воздуха	Обеспечение устойчивого функционирования экономики и ее отдельных объектов, коммуникаций и систем жизнеобеспечения населения в военное время
Ликвидация последствий воздушного нападения	Проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ
Подготовка защитных сооружений для населения	Временное отселение населения, укрытие в защитных сооружениях, предоставление средств индивидуальной защиты
Оказание первой медицинской и доврачебной помощи пострадавшему населению в результате авиаударов	Первоочередное обеспечение населения, пострадавшего от опасностей, возникших при ведении военных действий, водой, продуктами питания, оказание медицинской помощи и принятие других необходимых мер
Поддержание общественного порядка	Поддержание общественного порядка в районах, пострадавших от опасностей, возникших при ведении военных действий

Основная часть

Учитывая опыт гражданской войны и растущее значение авиации, руководство Советского Союза неоднократно рассматривало вопросы, связанные с состоянием противовоздушной обороны государства. Результатом рассмотрения данных вопросов стало принятие ряда основополагающих документов, ориентируемых на укрепление противовоздушной обороны страны. Так, 4 октября 1932 г. Совет народных комиссаров (СНК) СССР утвердил новое «Положение о ПВО СССР», в соответствии с которым МПВО была выделена в самостоятельную составную часть системы противовоздушной обороны страны [3].

Основной целью МПВО являлось обеспечение защиты населения и объектов экономики от воздушного нападения.

С целью обеспечения безопасности и минимизации последствий нанесения ударов с использованием авиации в Положении о ПВО СССР был определен перечень мероприятий, которые необходимо было выполнить в зоне досягаемости вероятного противника (в 500-километровой зоне приграничной полосы).

Данные мероприятия подразделялись на три группы:

группа 1 – подготовительные (обучение населения, устройство защитных сооружений, строительство командных пунктов, развитие средств оповещения и связи, дублирование источников электро-, газо- и водоснабжения предприятий, подготовка светомаскировки и т. д.);

группа 2 – в период нападения (подача сигнала «Воздушная тревога», укрытие населения, проведение светомаскировки, выдача средств индивидуальной защиты);

группа 3 – после нападения (спасение людей из завалов, ликвидация пожаров и аварий, расчистка проездов, обезвреживание неразорвавшихся снарядов, дегазация и т. д.).

Для обеспечения эффективной защиты от воздушного нападения в зоне досягаемости вероятного противника определялись города – пункты ПВО и объекты ПВО (крупные предприятия). Начальником пункта ПВО назначался командир воинской части ПВО, а начальником объекта ПВО – руководитель предприятия. В этой связи необходимо обратить внимание на то, что в состав МПВО входили как воинские части ПВО, так и добровольные формирования. Добровольные формирования создавались из числа гражданского населения в виде – участковых команд, на предприятиях – объектовых команд, при домоуправлениях – групп самозащиты.

СНК СССР 20 июня 1937 г. принял Постановление «О местной (гражданской) противовоздушной обороне Москвы, Ленинграда, Баку и Киева», которое сыграло важную роль

в деятельности МПВО. В соответствии с ним руководство МПВО было возложено на председателей городских и районных советов, осуществлено введение должностей заместителей председателей городских и районных советов по МПВО. Параллельно осуществлялись мероприятия по созданию различных служб МПВО: оповещения и связи, торговли и питания, убежищ, транспортная, противопожарная, аварийно-восстановительная, светомаскировки, медико-санитарная, водоснабжения и канализации, восстановления зданий, дорог и мостов, ветеринарная. Данные службы создавались на базе соответствующих предприятий и организаций, их создание было завершено незадолго до начала Великой Отечественной войны.

В связи с обострившейся международной обстановкой и необходимостью подготовки вооруженных сил СССР к надвигающейся войне СНК СССР 7 октября 1940 г. принял Постановление № 136, в соответствии с которым руководство МПВО передали Народному комиссариату внутренних дел СССР, в составе которого было создано Главное управление МПВО. Главное управление акцентировало внимание на координации деятельности структур, входящих в состав МПВО, разработку вопросов, связанных с организацией и тактикой действий, совершенствовании взаимодействия с органами военного управления.

В январе 1941 г., учитывая нарастающую угрозу и развитие средств авиации, СНК СССР принял Постановление «Об организации противовоздушной обороны». Данным Постановлением угрожаемая зона воздушного нападения была увеличена до 1200 км от границ СССР, а вся территория страны разделена на зоны ПВО [4].

Великая Отечественная война стала серьезнейшим испытанием для всей военной организации СССР, в том числе и формирований местной противовоздушной обороны.

Руководство нацистской Германии одной из главных задач для военно-воздушных сил (ВВС) ставило нарушение работы промышленности, транспорта, связи, подавление воли советских людей к сопротивлению. С этой целью ВВС Германии и ее союзников должны были с началом военных действий наносить массированные авиаудары по крупнейшим административно-политическим центрам, крупнейшим предприятиям и важным объектам экономики, что должно было привести к дезорганизации тыла и нарушить регулярное и своевременное обеспечение советской армии.

В 3 часа 30 минут 22 июня 1941 г. немецкая авиация начала наносить удары по городам Белоруссии, Украины и Прибалтики [4]. Однако вероломное нападение авиации Германии не застало МПВО врасплох. Подразделения МПВО Белоруссии, Украины и Прибалтийских республик в считанные часы были приведены в боевую готовность и приступили к выполнению задач по предназначению.

В этот же день все штабы МПВО получили приказ о введении «Угрожаемого положения», светомаскировке и переводе участков команд на казарменное положение. К наступлению ночи все основные мероприятия по светомаскировке, организации наблюдения за территорией городов, приведению в полную боевую готовность пунктов управления были закончены [3].

В то же время в первые дни войны в организации и деятельности МПВО были выявлены и определенные недостатки. Например, не везде был детально разработан порядок предупреждения населения об опасности нападения с воздуха; сигнал «Воздушная тревога» подавался даже при появлении самолетов-разведчиков, что отражалось на работе предприятий, которая без необходимости прерывалась; в некоторых городах не хватало убежищ; сказывалось отсутствие опыта ведения аварийно-спасательных работ; наблюдалась низкая оперативность оказания медицинской помощи пострадавшим и т. д. [5].

Определенные трудности имелись и в ликвидации пожаров, возникавших в результате применения противником зажигательных бомб. Тушить их научились достаточно быстро, но на начальном этапе войны пожары от таких бомб нанесли значительный ущерб, в том числе в Минске.

Достаточно большие потери от авиационных ударов были среди мирного населения, не занятого на производстве, прежде всего детей, были связаны с незнанием и невыполнением ими правил защиты. Так, при получении сигнала «Воздушная тревога» они не уходили в убежища и погибали в завалах разрушенных зданий и (или) от осколков авиабомб. Еще одной причиной гибели мирного населения являлось недостаточное количество укрытий и убежищ.

С учетом печального опыта первых дней войны, а также активного продвижения войск противника вглубь страны в прифронтовых городах развернулось активное строительство различного рода укрытий и убежищ. Личный состав МПВО в этот период не только мужественно ликвидировал последствия вражеских налетов, но и принимал активное участие в строительстве защитных сооружений. В результате только в первые месяцы войны к существующим защитным сооружениям прибавились сотни тысяч убежищ и укрытий общей вместимостью до 20 млн человек [6].

Принимая во внимание сложившуюся ситуацию, руководство страны 2 июля 1941 г. с целью снижения потерь населения и ущерба экономике страны приняло Постановление «О всеобщей обязательной подготовке населения к противовоздушной обороне». Принятие данного постановления стало началом всеобщей обязательной подготовки населения к овладению правилами противовоздушной и противохимической обороны (ПВХО). В соответствии с Постановлением все советские люди должны были изучать правила ПВХО, учиться устранять последствия авианалетов, а также уметь оказывать первую доврачебную помощь пострадавшим.

По всей стране развернулась активная работа по обучению населения правилам ПВХО. Только в первые месяцы войны были созданы и начали работу около 4 млн кружков ПВХО, в которых обучались десятки миллионов советских граждан. Активная работа по обучению населения и личного состава МПВО дала ощутимый результат. К весне 1942 г. в рядах МПВО находилось более 6 млн бойцов и командиров, а к концу года подготовлено по нормам ПВХО около 53 млн человек [6].

Во втором периоде войны по мере освобождения территории СССР от немецко-фашистских захватчиков перед Главным управлением МПВО одной из основных задач ставилось развертывание МПВО в освобожденных районах. Большинство освобожденных городов находилось недалеко от линии фронта, поэтому не исключалась возможность воздушного нападения вражеской авиации, а следовательно, требовалось обеспечить защиту населения от авиаударов противника.

Как правило, инфраструктура освобожденных населенных пунктов была в удручающем состоянии: защитные сооружения были разрушены или повреждены, во многих населенных пунктах отсутствовала радиотрансляционная сеть, были разрушены или повреждены инженерные коммуникации, строения и жилые дома. Кроме этого, немецкие войска, отступая, проводили минирование городов.

В этих условиях перед силами МПВО остро стояла задача по восстановлению и (или) приведению в рабочее состояние средств индивидуальной и коллективной защиты, обеспечение своевременного оповещения о воздушной тревоге и т. д. До восстановления радиотрансляционной сети задача по подаче сигналов о воздушном нападении возлагалась на противопожарные посты. Еще одной задачей, возложенной на противопожарные посты, стало обеспечение непрерывной связи со штабами МПВО.

Работы по восстановлению убежищ и укрытий, устройству новых защитных сооружений проводились силами не только МПВО, но и местного населения. В ходе проведенной работы в Минске были восстановлены или построены защитные сооружения, в которых могли разместиться более 50 тыс. жителей, в Гомеле организованы работы по строительству сооружений МПВО, создано 75 групп самозащиты, организовано дежурство, проведено обучение местных жителей правилам ПВХО. Принятые меры по созданию МПВО оказались весьма своевременными. Так, в ночь на 18 июня 1944 г. немецкая авиация совершила налет

на Гомельский железнодорожный узел. В ходе нападения немецкая авиация сбросила более 3 тыс. фугасных и зажигательных бомб [7]. Однако своевременно проведенные мероприятия позволили минимизировать ущерб от авиаудара противника.

Еще одной важной задачей, стоящей перед МПВО, было участие в восстановлении объектов народного хозяйства освобожденных территорий. МПВО активно включилась в данную деятельность, т. к. именно она являлась наиболее организованной силой для проведения первоочередных аварийно-восстановительных работ.

Наибольших результатов в восстановлении объектов народного хозяйства достигли инженерно-противохимические части войск МПВО, поскольку они имели подготовленные инженерные кадры, обученный личный состав и специальную технику.

Однако их деятельность усложняло одно обстоятельство сходное для всех освобожденных территорий – наличие большого количества мин и неразорвавшихся снарядов. Это обстоятельство привело к значительному увеличению объема работ выполняемых пиротехнической службой МПВО.

Участвуя в восстановлении народного хозяйства страны, подразделения МПВО восстановили более 250 промышленных предприятий, 15 685 зданий, уложили свыше 547 тыс. м² покрытий шоссейных дорог, ввели в строй 205 мостов и т. д. Так, в Минской области личный состав 5-го инженерно-противохимического полка проложил кругло-лежневые дороги в Смолевичском леспромхозе протяженностью около 9000 м, построил узкоколейную железнодорожную ветку – 16 590 м, восстановил Республиканскую школу МПВО и др. [7].

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– в предвоенные годы советское руководство уделяло достаточное серьезное внимание обеспечению защиты населения и территории страны от воздушного нападения. Оно провело большой комплекс мероприятий по укреплению МПВО, однако данная работа не была завершена в полном объеме, а также имела определенные просчеты, связанные с действующей военной доктриной тех лет, не допускавшей отступления Красной армии вглубь страны;

– в годы Великой Отечественной войны МПВО превратилась в многомиллионную массовую организацию, которая успешно ликвидировала последствия массированных авиаударов немецкой авиации;

– применение МПВО в проведении восстановительных работ на освобожденных территориях было оправдано, органы государственного управления в лице личного состава МПВО получили хорошо организованную и обученную рабочую силу;

– основным результатом деятельности МПВО в годы Великой Отечественной войны стало сохранение жизней миллионам гражданам СССР, снижение разрушительного воздействия авиации противника на тыловые территории СССР.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также идентичность задач, решаемых МПВО в годы Великой Отечественной войны и современной ГО, очевидно, что МПВО стала фундаментом для создания ГО в современном ее понимании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленин, В.И. Полное собрание сочинений: в 54 т. / В.И. Ленин. – 5-е изд. – М.: Изд-во политической литературы, 1974. – Т. 35: Октябрь 1917 ~ март 1918. – 408 с.
2. Субботин, М.Н. Мероприятия гражданской защиты, обеспечивающие живучесть города в мирное и военное время / М.Н. Субботин, С.С. Бордак // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 99–105.
3. Гражданская оборона: учеб. пособие / под ред. А.Т. Алтунина. – М.: Воениздат, 1982. – 192 с.
4. Чельцов, Б.Ф. Зарождение и развитие противовоздушной обороны страны / Б.Ф. Чельцов // Военно-исторический журнал. – 2004. – № 12 – С. 18–27.

5. Гусев, А.В. Обучение населения СССР способам противовоздушной и химической защиты оборонными организациями в годы Великой Отечественной войны (1941–1945) [Электронный ресурс] / А.В. Гусев // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина – 2014. – Т. 4, № 2, – С. 81–89. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21669207>. – Дата доступа: 04.04.2020.
6. Гусев, А.В. Местная противовоздушная оборона прифронтовых городов в годы войны, и ее роль в защите населения и объектов от воздушного нападения [Электронный ресурс] / А.В. Гусев // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина – 2010. – Т. 4, № 4. – С. 100–107. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20743341>. – Дата доступа: 04.04.2020.
7. Лебедев, А.В. Опыт участия сил МПВО страны в восстановлении народного хозяйства в годы ВОВ [Электронный ресурс] / А.В. Лебедев // Стратегии гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2019. – Т. 9, № 2, – С. 89–99. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41479240>. – Дата доступа: 02.04.2020.

**Местная противовоздушная оборона: обеспечение безопасности населения
в годы Великой Отечественной войны**

Local air defense: ensuring of population safety during the Great Patriotic War

Хроколов Виталий Александрович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра управления
защитой от чрезвычайных ситуаций,
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: xrva@tut.by
ORCID: 0000-0002-6577-4061

Vitaliy A. Khrokolov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Management,
Senior Lecturer

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: xrva@tut.by
ORCID: 0000-0002-6577-4061

Субботин Михаил Николаевич

кандидат военных наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра гражданской
защиты, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
ORCID: 0000-0003-0071-8867

Mikhail N. Subbotin

PhD in Military Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Civil Protection, Professor

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
ORCID: 0000-0003-0071-8867

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.338>

LOCAL AIR DEFENSE: ENSURING OF POPULATION SAFETY DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Khrokolov V.A., Subbotin M.N.

Purpose. Analysis of the state of the local air defense system (hereinafter – LAD) on the eve of and during the Great Patriotic War, the study of the role of air defense in ensuring the protection of civilians during the war.

Methods. General scientific research methods: analysis and synthesis, comparison and generalization.

Findings. The prerequisites for the occurrence of LAD are clarified, the development process of the LAD on the eve and in the years of the Great Patriotic War is specified, the activity of the LAD to protect the population from the dangers from the conduct of hostilities and as a result of them is specified, the role of the LAD in restoring the national economy is determined.

Application field of research. The results can be used during the training of specialists in the field of protection against emergencies, as well as to familiarize them with the activities of LAD during the Great Patriotic War and its role in the development of civil defense.

Keywords: local air defense, war, protective structures, air attack, emergency recovery work, emergency rescue work, fire, civil defense.

(The date of submitting: May 25, 2020)

REFERENCES

1. Lenin V.I. *Polnoe sobranie sochineniy Lenina* [The Complete Works of Lenin]: in 54 vols. Moscow: Izdatel'stvo politicheskoy literatury, 1974. Vol. 35: October 1917 ~ March 1918. 408 p. (rus)
2. Subbotin M.N., Bordak S.S. Meropriyatiya grazhdanskoy zashchity, obespechivayushchie zhivuchest' goroda v mirnoe i voennoe vremya [Measures of the Civil Defense providing the functioning of cities at peace and war period]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 99–105.
3. Altunina A.T. *Grazhdanskaya oborona* [Civil defense]: textbook. Moscow: Military Publishing, 1982. 192 p. (rus)
4. Cheltsov B.F. Zarozhdenie i razvitie protivovozdushnoy oborony strany [The origin and development of the country's air defense]. *Voенно-istoricheskii zhurnal*, 2004. No. 12. Pp. 18–27. (rus)
5. Gusev A.V. Obuchenie naseleniya SSSR sposobam protivovozdushnoy i khimicheskoy zashchity obronnyimi organizatsiyami v gody Velikoy Otechestvennoy voyny (1941–1945) [Education of the USSR population in air defense and chemical protection methods by defense organizations during the Great Patriotic War (1941–1945)]. *Pushkin Leningrad State University Journal*, 2014. Vol. 4, No. 2. Pp. 81–89, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21669207> (accessed: April 4, 2020). (rus)
6. Gusev A.V. Mestnaya protivovozdushnaya oborona prifrontovykh gorodov v gody voyny, i ee rol' v zashchite naseleniya i ob"ektov ot vozdushnogo napadeniya [Local air defense of front-line cities during the war years, and its role in protecting the population and objects from air attacks] *Pushkin Leningrad State University Journal*, 2010. Vol.4, No. 4, Pp. 100–107, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20743341> (accessed: April 4, 2020). (rus)
7. Lebedev A.V. Opyt uchastiya sil MPVO strany v vosstanovlenii narodnogo khozyaystva v gody VOV [The experience of the participation of the country's air defense forces in the restoration of the national economy during the Great Patriotic War]. *Strategii grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2019. Vol. 9, No. 2. Pp. 89–99. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41479240>. (accessed: February 17, 2020). (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.346>

УДК 159.9:614.8

НАДЕЖНОСТЬ ЛЕТНОГО СОСТАВА КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Исаев А.В.

Цель. Выявить наличие предпосылок для исследования проблемы полинадежности летного состава.

Методы. Теоретический анализ проблемы надежности человека-оператора в сложных системах управления.

Результаты. Описано влияние технократического подхода на надежность летчика в экстремальных условиях, отражены некоторые подходы к изучению надежности человека-оператора, установлено, что классическое определение надежности не предполагает выполнения необходимых функций в изменившихся условиях, создана предпосылка к исследованию проблемы полинадежности человека-оператора.

Область применения исследований. Представленные результаты могут быть использованы для дальнейшего исследования проблемы полинадежности человека-оператора в сложных системах управления.

Ключевые слова: безопасность, готовность, надежность, негативное событие, полинадежность, летчик, человек-оператор, эффективность, экстремальная деятельность.

(Поступила в редакцию 12 июня 2019 г.)

Введение

Проблема эффективности и обеспечения безопасности полетов военной авиации с позиции личностного фактора фокусирует внимание ученых и практиков в области авиационной инженерной психологии на понятии надежности экипажа как ключевого элемента системы человек – воздушное судно – среда.

Для операторских профессий, к которым относится и летная, характерно возникновение неожиданных негативных событий в процессе выполнения профессиональной деятельности. В авиации к подобным событиям относят особые (нештатные) ситуации в процессе летной эксплуатации воздушного судна, возникшие в результате проявления (воздействия) опасных факторов полета.

С учетом того что опасность является естественным спутником полета, надежность экипажа не может рассматриваться вне проявления опасных факторов. Скорее наоборот – психолого-профессиональная готовность к преодолению возникающих угроз безопасности полета и эффективная работа экипажа в особых ситуациях является показателем его надежности.

Основная часть

1. Технократический подход в системе человек – воздушное судно – среда. Профессор В.А. Пономаренко [1] обращает внимание на творческое начало человека летающего, которое обеспечивает не только эффективное и безопасное применение авиационной техники, но и способно сформировать определенный запас надежности действий летчика, особенно в нестандартных условиях. При этом творчество в летном труде, с точки зрения ученого, заложено даже в элементарных сенсомоторных актах приборного полета. Например, для удержания показаний приборов в пределах требуемых параметров необходимо предвидеть и упреждать предполагаемые изменения режима полета в зависимости от складывающейся обстановки. Следовательно, психика летчика должна постоянно работать в режиме прогнозирования ближайшего будущего.

Но в силу определенных обстоятельств именно летчик – творческий создатель каждого отдельного полета иногда не способен спрогнозировать и предотвратить возникновение негативных событий в воздухе и порой сам является их причиной.

Такое положение дел многие годы тревожит авиаторов и побуждает конструкторов внедрять в новые образцы авиационной техники передовые информационные технологии, призванные помогать экипажу в полете и предотвращать ошибки человека в технике пилотирования.

Например, информационное управляющее поле кабин воздушных судов последних поколений оснащается голосовым управлением некоторыми органами и системами, цветными (иногда даже сенсорными) экранами взамен привычных аналоговых приборов (которые в ряде случаев вовсе отсутствуют), системой индикации на лобовом стекле, которую рано или поздно заменят многофункциональные шлемы пилота с графической индикацией на элементах остекления [2].

Благодаря мощному компьютерному оснащению самолеты пятого поколения имеют интеллектуальную систему управления воздушным судном, что позволяет не только компенсировать некоторые ошибки экипажа и предотвратить возникновение критических режимов полета, но и запрограммировать на земле выполнение до 90 % полетного задания.

Технократический подход приводит к тому, что автоматика «вынуждает» летчика не просто опираться на ее возможности, а целиком переложить ответственность за происходящие события в полете. Экипаж при этом иногда теряет способность к интеллектуальной и творческой деятельности, становясь созерцателем и контролером автоматизированного выполнения самолетом заданных параметров полета. Это приводит к снижению надежности человека в экстремальных условиях, в частности, сложности перехода пилота к активной психической деятельности в случае возникновения нештатных ситуаций. Иными словами, внезапно оказавшись в условиях динамично развивающихся экстремальных обстоятельств, пилот может оказаться не готовым эффективно и безопасно завершить полетное задание. А следовательно, летчик может стать ненадежным звеном в сложной системе управления.

2. Определение надежности человека-оператора. В современной инженерной психологии и эргономике признаны и широко применяются системный, деятельностный и личностный подходы при изучении проблемы надежности деятельности человека-оператора.

Профессоры В.А. Пономаренко и Н.Д. Завалова [3] касательно системного подхода отмечают, что эффективность и надежность системы человек – машина зависят не только от степени совершенства технического оборудования и особенностей психических и физических свойств человека, но и от совокупного качества взаимодействия человека с управляемой им машиной.

Сущностью деятельностного подхода, основанного на элементах теории деятельности профессора А.Н. Леонтьева [4], а также концепции регулирующей роли психического отражения профессора Б.Ф. Ломова [5] является установление характера причинно-следственных отношений на разных уровнях макроструктуры трудового процесса, что позволяет выявить сущность явлений, которые определяют происхождение и проявление ошибочных действий человека-оператора.

Личностный подход к изучению надежности деятельности человека-оператора предусматривает оценку влияния на эффективность и надежность деятельности таких структурно-динамических характеристик, как особенности состояния различных систем и функций организма, обеспечивающих энергетический потенциал субъекта деятельности. При рассмотрении взаимосвязи личностных особенностей с характером ошибочных действий в ряде экспериментальных исследований отмечается, что надежность человека зависит не только от профессиональных, но и от личностных характеристик (эмоционально-волевых, темпераментальных, характерологических, психомоторных, мотивационно-потребностных) [6].

Вместе с тем известные подходы не позволяют в полной мере исследовать надежность человека-оператора в экстремальных ситуациях (нестандартных, нештатных, угрожающих, аварийных).

Условия выполнения профессиональных задач летчиками и другими специалистами экстремального профиля нередко переменчивы и зависят от множества факторов. Так, изначально спланированные полетные задания, к которым потенциально подготовлен военный летчик, могут в ходе выполнения претерпеть множество изменений. Несмотря на то что это и есть проявления специфики экстремальной деятельности, подготовиться к вероятностному развитию негативных событий в полете с профессиональной точки зрения иногда не представляется возможным.

Программа подготовки авиационных кадров предусматривает обучение специалистов работе не только в стандартных условиях полетных заданий, но и в наиболее распространенных нештатных ситуациях. Но это вовсе не гарантирует готовность экипажа к действиям во внезапно возникших, стремительно развивающихся негативных событиях полета и способность предотвратить их развитие. Более того, опасность, неожиданность и неопределенность негативных событий, могут повлечь изменение функционального состояния экипажа, которое имеет непосредственное отношение к способности выполнения деятельности без срывов.

Таким образом, условия выполнения полетного задания, вышедшие за пределы планируемых и прогнозируемых, не могут рассматриваться как изначально заданные.

Следует отметить, что традиционное определение надежности человека-оператора предполагает его способность выполнять заданные функции на нужном уровне эффективности в течение необходимого времени при определенных условиях работы.

Исходя из логики упомянутого определения надежности человека-оператора, можно констатировать, что оно не подразумевает безотказного выполнения деятельности в динамично изменяющихся условиях, нештатных и нестандартных ситуациях, а также в иных обстоятельствах, которые выходят за рамки изначально установленных параметров.

Таким образом, применение традиционного определения надежности человека-оператора в отношении военных летчиков и других специалистов экстремального профиля не может быть корректным, поскольку профессиональная деятельность таких специалистов непосредственно связана с риском для жизни, регулярным возникновением неожиданных негативных событий, которые изначально не предусматривались в течение установленного времени и существенно отличаются от заданных условий либо делают заданные условия невыполнимыми.

На основании этого можно было бы предположить, что при возникновении нештатных, незапланированных, неожиданных и прочих негативных событий, о высокой надежности человека-оператора говорить некорректно. Однако, на наш взгляд, это не соответствует действительности. Подтверждением тому служат множество нештатных ситуаций и технических отказов, ежегодно происходящих в авиации, которые не повлекли тяжелых последствий благодаря динамической перестройке активного звена (человека) в системе летчик – самолет – среда к действиям в экстремальных условиях.

Профессор В.Д. Небылицын [7] подчеркивает, что уровень надежности субъекта не может быть в надлежащей степени определен в таких условиях, которые не предъявляют повышенных требований хотя бы к одной из характеристик надежности: оптимальные условия скрадывают индивидуальные различия по надежности (сохраняя их, однако, в отношении эффективности работы). Поэтому для выявления индивидуальных показателей надежности субъект должен быть поставлен в экстремальные условия.

Количественно, надежность человека-оператора определяется вероятностью P безотказной работы, которая всегда меньше единицы ($P < 1$).

Для оценки надежности и способа ее повышения рассмотрим следующие случаи:

1. Вероятность безотказной работы зависит от общей технологической схемы работы. Для схемы последовательного соединения элементов (рис. 1) общая вероятность безотказной

работы всегда меньше вероятности самого ненадежного элемента (вероятность безотказной работы которого = 0,2):

$$P = p_1 \times p_2 \times p_3 = 0,8 \times 0,8 \times 0,2 < 0,2.$$

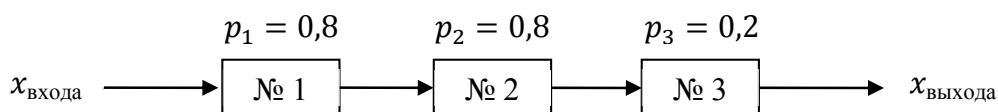


Рисунок 1. – Схема последовательного соединения элементов (люди/устройства)

2. Для повышения надежности используется так называемое дублирование (рис. 2), когда одни и те же функции могут выполнять два человека (или технических устройства) и более. Например, воздушные суда с двойным управлением, где находятся два пилота (один из них командир экипажа), пользующиеся идентичными измерительными приборами и органами управления, имеющие возможность выполнять одинаковые функции.

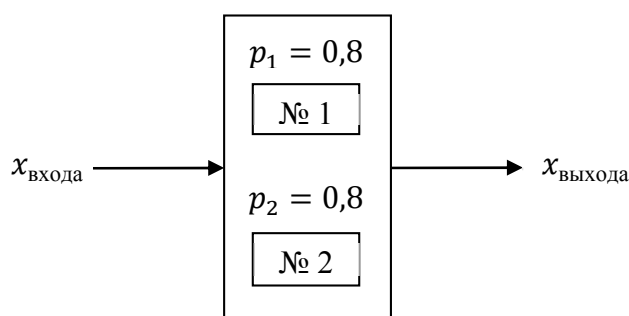


Рисунок 2. – Схема дублирования функций

Вероятность безотказной работы для схемы дублирования функций при p_1 и p_2 равных 0,8:

$$P = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) = 0,96.$$

Заключение

Таким образом, в ответственных системах, связанных с риском для жизни людей, применяется дублирование, при этом вероятность безотказной работы системы асимптотически приближается к единице, никогда ее не достигая, т. к. абсолютно надежных систем в природе не существует.

Однако по изучению одиночных характеристик надежности нельзя судить о надежности деятельности человека-оператора в сложной системе управления. Поэтому с целью повышения эффективности и безопасности в сложных системах управления академиком международной академии проблем человека в авиации и космонавтике М.А. Кремнем теоретически обосновано и предложено для практического использования понятие *полинадежности*. Теоретические аспекты и примеры использования полинадежности в деятельности летного состава с целью повышения их эффективности и обеспечения безопасности полетов будут отражены в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко, В.А. Психология человеческого фактора в опасной профессии / В.А. Пономаренко. – Красноярск: Политком, 2006. – 629 с.
2. Пономаренко В.А. Психология авиации: в 2 т. / Под ред. А.Н. Разумова. – М.: РИОР, 2015. – Т. 2. – 304 с.
3. Пономаренко, В.А. Авиационная психология / В.А. Пономаренко, Н.Д. Завалова. – М.: Институт авиационной и космической медицины, 1992. – 200 с.
4. Леонтьев, А.Н. Деятельность, сознание, личность / А.Н. Леонтьев. – М.: Политиздат, 1975. – 304 с.

5. Ломов, Б.Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии / Б.Ф. Ломов – М.: Наука, 1984. – 444 с.
6. Котик, М.А. Природа ошибок человека-оператора / М.А. Котик, А.М. Емельянов. – М.: Транспорт, 1993. – 252 с.
7. Душков, Б.А. Хрестоматия по инженерной психологии / Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, Б.А. Смирнов. – М.: Высшая школа, 1991. – 287 с.

Надежность летного состава как фактор обеспечения безопасности полетов

Reliability of flight personnel as a factor of ensuring flight safety

Исаев Алексей Валерьевич

Государственное учреждение «223 центр авиационной медицины Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны Вооруженных Сил Республики Беларусь», отдел авиационной психологии, начальник отдела

Адрес: ул. Молодежная, 24,
223012, г. п. Мачулищи, Беларусь

e-mail: isaevaviapsi@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3478-5155

Aleksey V. Isaev

State Institution «223 Center for Aviation Medicine of the Air Force and Air Defense Forces of the Armed Forces of the Republic of Belarus», Department of Aviation Psychology, Head of Department

Address: ul. Molodezhnaya, 24,
223012, Machulishchi, Belarus

e-mail: isaevaviapsi@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3478-5155

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.346>

RELIABILITY OF FLIGHT PERSONNEL AS A FACTOR OF ENSURING FLIGHT SAFETY

Isaev A.V.

Purpose. Identify the prerequisites for the study of the problem of pilots' polyreliability.

Methods. Theoretical analysis of the problem of human operator reliability in complex control systems.

Findings. The influence of the technocratic approach on the pilot reliability in extreme conditions is described. Some approaches to the study of human operator reliability are reflected. It is established that classical reliability definition doesn't imply the performance of desired functions in changed conditions. The prerequisite to study the human operator polyreliability has been created.

Application field of research. The presented results can be used to further study of the problem of polyreliability of human operator in complex control systems.

Keywords: safety, readiness, reliability, negative event, polyreliability, pilot, human operator, effectiveness, extreme activity.

(The date of submitting: June 12, 2019)

REFERENCES

1. Ponomarenko V.A. *Psikhologiya chelovecheskogo faktora v opasnoy professii* [Psychology of human factor in dangerous profession]. Krasnoyarsk: Politkom, 2006. 629 p. (rus)
2. Ponomarenko V.A. *Psikhologiya aviatsii* [Psychology of aviation]: in 2 vol. Ed. by Razumov A.N. Moscow: RIOR, 2015. Vol. 2. 304 p. (rus)
3. Ponomarenko V.A., Zavalova N.D. *Aviatsionnaya psikhologiya* [Aviation psychology]. Moscow: Institute of aviation and space medicine, 1992. 200 p. (rus)
4. Leontiev A.N. *Deyatelnost', soznanie, lichnost'* [Activity. Consciousness. Personality]. Moscow: Politizdat, 1975. 304 p. (rus)
5. Lomov B.F. *Metodologicheskie i teoreticheskie problemy psikhologii* [Methodological and theoretical problems of psychology]. Moscow: Nauka, 1984. 444 p. (rus)
6. Kotik M.A., Emelyanov A.M. *Priroda oshibok cheloveka-operatora* [The nature of the human operator errors]. Moscow: Transport, 1993. 252 p. (rus)
7. Dushkov B.A., Lomov B.F., Smirnov B.A. *Khrestomatiya po inzhenernoy psikhologii* [Textbook on engineering psychology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1991. 287 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.353>

УДК 004.94: 351.861

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ

Соколова А.А., Тихонов М.М., Абдуллаев А.А.

Цель. Проанализировать существующие информационные системы с учетом акцентуации на выявлении базовых критериев в процессе оценки информации, необходимой для поддержки принятия максимально эффективного решения в условиях чрезвычайных ситуаций.

Методы. В исследовании был использован метод сравнительного анализа.

Результаты. Раскрыты вопросы, касающиеся информационных технологий и концептуальных основ управления, затронуты существующие информационно-управляющие системы, целенаправленно используемые для предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, раскрыт проблемный характер происходящих многомерных процессов, касающихся информационных структур, а также принципов переработки информации, характеризующих деятельность современных информационных служб МЧС Республики Беларусь.

Область применения исследований. Выводы статьи могут быть использованы в исследованиях гражданской защиты.

Ключевые слова: постиндустриальная эпоха, технологии управления, управление рисками, автоматизированные информационно-управляющие системы в условиях чрезвычайных ситуаций, система поддержки принятия решений, интеллектуализация процессов управления.

(Поступила в редакцию 25 марта 2020 г.)

Введение

В процессе закономерного перехода к постиндустриальной эпохе, в современном обществе происходят глобальные изменения, необходимые для выработки инновационных стратегий, обновления информационных технологий управления и принципов сбора, обработки информации, способствующих модернизации и отвечающих требованиям в условиях чрезвычайных ситуаций.

В связи с этим развитие информационно-управляющих систем приобретает сегодня особое значение для социума вследствие происходящих изменений, связанных с обеспечением защиты информационных ресурсов и трансформации телекоммуникационных систем. Многомерное информационное воздействие на человека в информационном обществе и «ряд социально-экономических тенденций, которые приведут к распространению информационных технологий, наряду с ростом мировой экономики, большей культурной ассимиляцией, созданием и внедрением новой техники» [1], детерминируют реализацию эффективных управленческих решений, отражающих динамику многомерной социальной реальности при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Актуальность вопросов, связанных с информационными технологиями и современным управлением в условиях чрезвычайных ситуаций, становится особенно очевидной в процессе анализа особенностей существующих информационных систем, спецификой обмена информацией, осуществляемого с учетом акцентуации на критериях оценки информации для поддержки принятия максимально эффективного решения, что имеет непосредственное отношение к структурам адаптивного управления.

Оригинальность и новизна научного аспекта данного вопроса будет раскрыта в процессе сравнительного анализа существующих информационных систем с учетом акцентуации на выявлении базовых критериев в процессе оценки информации, необходимой для поддержки принятия максимально эффективного решения в условиях чрезвычайных ситуаций,

имеющих, как правило, непосредственное отношение к структурам адаптивного управления. Однако важно понимать, что потоки информации могут оказаться разноосновными, неоднородными, разновекторными, что усложнит работу аналитическому отделу, командному составу, а также затруднит процесс создания эффективной информационно-управленческой инфраструктуры, которая необходима для обеспечения динамичного и непрерывного диалога и эффективного управления в условиях чрезвычайных ситуаций.

Акцентируя внимание на выявлении определенных критериев оценки информации для поддержки принятия управленческих решений в процессе их применения в условиях чрезвычайных ситуациях, предполагаем представить концептуальные основы различных информационных потоков с алгоритмом автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем. Исследуя разноплановые проблемы, связанные с информационными технологиями и управлением, а точнее, с информационно-управляющими системами в условиях чрезвычайных ситуаций, необходимо уточнить, какое место занимают они в структуре обеспечения безопасности и как это связано с информационными технологиями, современным управлением, а также с применением кибернетических и робототехнических систем [2]. Кроме того, адаптивное управление инициирует комплексную информационную систему, которая базируется на интегрированных технологиях баз данных, сети Интернет и современных механизмах защиты информации. При этом отметим, что адаптивное управление, управление рисками, специфика использования современных технических информационно-управляющих систем, а также выбор (изменений) наиболее приемлемых технологических условий для специалистов МЧС важно рассматривать с позиций конвергенции и с учетом современной динамики развития общественных отношений, т. к. «в информационном обществе геополитические трансформации, глобальные изменения социальной реальности, которые детерминируют разновекторные процессы обеспечения безопасности личности, также объективно связаны с универсалиями культуры» [3]. Следовательно, объективно прослеживается связь информационных технологий управления рисками и духовной культуры современного общества, которая является константой безопасности и представляет собой «качественную определенность», во многом характеризующую информационно-управляющие системы в условиях чрезвычайных ситуаций, влияющие в том числе на международную безопасность [4].

Уточним, что сегодня наблюдается заинтересованность специалистов в использовании техногенных сред, а также интенсивной интеллектуализации процессов управления с использованием информационных технологий, т. к. социально-экономическое развитие требует выработки инновационных принципов управления, которые способствуют модернизации Республики Беларусь.

Значительное внимание уделяется применению управленческих систем, связанных с внедрением сетевых технологий для «решения проблем анализа и синтеза интеллектуальных процессов и систем управления сложными объектами произвольной природы, обладающими свойствами избирательности и операциональной замкнутости, а также способностью моделировать среду и себя в ней (кибернетика наблюдения, включающего и самого наблюдателя)» [5]. И действительно, сегодня, как никогда ранее, актуализированы современные информационные технологии, т. к. значительное внимание уделяется управлению рисками, проблемам интеграции, интеллектуализации локальных систем и адаптивного управления, а также разработке глобальных стратегий управления движением сложных робототехнических систем, особенно в условиях чрезвычайных ситуаций.

Основная часть

В постиндустриальную эпоху активно применяются инновационные технологии, интегрированные системы и новые алгоритмы управления, которые основываются на результатах научных исследований в области навигации и робототехники.

Сегодня требуются принципиально новые технологии управления, которые являются базой для разработки технологий на основе искусственного интеллекта, необходимых для проведения работ в экстремальных условиях (тушение пожаров, дезактивация труднодоступных поверхностей), позволяющих максимально расширить функциональные возможности автоматизированных информационно-управляющих систем в условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций, т. к. «в ходе непрерывного усложнения технических систем и стоящих перед ними задач самоорганизации постепенно превращается в безальтернативный способ создания перспективных систем неограниченной сложности» [6].

Считаем, что в условиях чрезвычайных ситуаций особое место занимают автоматизированные информационно-управляющие системы, которые выполняют расчетные, информационно-справочные функции, демонстрируя результирующий эффект, обеспечивающий реализацию различных функциональных задач подобных систем по поддержке принятия управленческих решений для более эффективной реализации адаптивных форм воздействия.

Следует отметить, что к критериям оценки информации для поддержки принятия управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций относятся: своевременность, достоверность, точность и полнота информации о состоянии объектов, процессов, сведений (данных) об окружающей среде (обстановке) [7]. Как правило, положительный эффект от быстрого реагирования с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций в большинстве случаев зависит от умения руководства быстро анализировать (обрабатывать) и преобразовывать полученный информационный ресурс для выработки планов, директив, проектов и распоряжений.

В результате преодоление организационных трудностей в процессе ликвидации ЧС возможно и необходимо осуществлять при помощи инновационной инфраструктуры, основанной на информационных технологиях, автоматизации, которая представляет собой комплексный вариант современного интернет-портала, оснащенного средствами защиты персонализированной, конфиденциальной информации, оперативно доставляющего достоверные сведения. И в этом случае основным принципом формирования комплексно-технологической информационной среды управления в чрезвычайных ситуациях является эффективное взаимодействие и диалогичность органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям и общества.

Отметим, что в современном обществе интенсивное развитие информационных технологий инициирует «цифровую среду», являющуюся частью межгосударственной информационной системы ГИССБ (GDIN), которая создавалась как комплексная система поддержки в принятии управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций, ликвидации стихийных бедствий как интегрированная система средств обработки разнонаправленных баз данных, экспертная географическая информационная система сбора данных по радиоактивности окружающей среды. Так, для более эффективного стратегического планирования в Федеральном агентстве США по управлению в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций используется система National Emergency Management System, представляющая собой интегрированную информационную систему, специально созданную для сбора, распределения необходимой информации в чрезвычайной ситуации, что позволяет гражданским органам более эффективно взаимодействовать с различными службами, обеспечивая безопасность личности, общества и государства.

Уделяя особое внимание международному опыту использования информационно-управляющих систем в условиях чрезвычайных ситуаций, особо подчеркнем, что сегодня в мире распространены и активно действуют ситуационные комплексы (ситуационные центры), которые создаются с целью всестороннего изучения информации при выработке оперативного решения стратегических задач в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций (Россия, Германия, США, Норвегия).

Интересно, что совместно с Центром исследования экстремальных ситуаций Всероссийский НИИ ГОЧС МЧС России активно создает специализированную геоинформационную систему «Экстремум», которая позволяет комплексно использовать картографические и атрибутивные базы данных для оперативного прогнозирования чрезвычайных ситуаций: землетрясения, природные пожары, наводнения, техногенные катастрофы.

Современная геоинформационная система «Экстремум» предлагает математические модели прогнозирования чрезвычайных ситуаций, что дает возможность учитывать возникающие гибридные риски и последствия чрезвычайных ситуаций, позволяющих более адекватно оценивать последствия опасных факторов, формируя долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные прогнозы возможных чрезвычайных ситуаций.

Развивая эту идею, Санкт-Петербургская компания «Транзас» в плановом порядке обучает командный состав МЧС, персонал и личный состав взаимодействующих служб в моделируемых аварийных ситуациях (нефтяные разливы, аварии на потенциально опасных объектах, операции поиска, спасения при морских, авиационных катастрофах). На основе автоматизированной системы контроля и оповещения в случае аварийных выбросов опасных веществ¹ осуществляется эффективное прогнозирование чрезвычайных ситуаций (математическое моделирование траектории движения, испарения, взаимодействия с берегом, потенциально опасного воздействия разлива нефти, химического продукта на акваториях), а также определяется степень угрозы токсичных субстанций в воздухе (в результате разлива химических веществ). Определяющим фактором, способствующим актуализации функциональных возможностей информационной системы, является активное использование данных моделей, которые автоматически отслеживают все изменения: базы данных, предназначенные для поддержки принятия решений при чрезвычайных ситуациях, графическое отображение развернутых сил и средств МЧС.

Заключение

В постиндустриальную эпоху не редкостью становятся кризисы и чрезвычайные ситуации, которые деструктивно воздействуют на современное общество, настоятельно требуют управления рисками, совершенствования существующих линий коммуникации: национальных, коммерческих, многосторонних, двусторонних информационных систем, объединяющих международные, правительственные, неправительственные, коммерческие организации, участвующие в реагировании на чрезвычайные ситуации и обеспечивающие международную безопасность.

Актуализируя вопросы, связанные с использованием информационных технологий и управлением рисками, считаем необходимым резюмировать, что положительный эффект от применения автоматизированных систем управления зависит от качества, оперативности поступающей информации о состоянии контролируемых объектов, процессов и от грамотности командного состава, который использует информационно-управляющие системы в условиях чрезвычайных ситуаций.

Информация, как правило, представляет собой основополагающий ресурс, используемый для успешной реализации управленческих решений средствами МЧС Республики Беларусь при предупреждении чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий. Управление рисками предполагает ответственность и высокий уровень профессионализма руководителя, т. к. в повседневной профессиональной деятельности, а также при выполнении деятельности, направленной на минимизацию вероятностей возникновения чрезвычайных ситуаций, необходимо акцентировать внимание на оперативности, достоверности поступающей информации, позволяющей максимально быстро рефлексировать, объективно отражать изменяющуюся реальность, анализируя оперативную обстановку при принятии своевременных управленческих решений на территории чрезвычайных ситуаций.

¹ Транзас внедрил систему контроля аварийных выбросов [Электронный ресурс] // Transas. – Режим доступа: <http://www.transas.ru/about/press/news/7028>. – Дата доступа: 25.03.2020.

Таким образом, авторская интерпретация вопросов, касающихся информационных технологий и концептуальных основ управления, затрагивает существующие информационно-управляющие системы, целенаправленно используемые для предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, раскрывает проблемный характер происходящих многомерных процессов, касающихся информационных структур, а также принципов переработки информации, характеризующих деятельность современных информационных служб МЧС Республики Беларусь.

В связи с этим, во-первых, сегодня первоочередной задачей является разработка рекомендаций по реализации более эффективного управления в условиях чрезвычайных ситуаций, что позволит в ближайшем будущем расширить возможности автоматизированных информационно-управляющих систем в постиндустриальную эпоху, когда наблюдается «тенденция к тотальному охвату всепроникающими компьютерными технологиями контроля и управления всех сфер существования и жизнедеятельности человека при одновременном повышении независимости от человека самой искусственной технической среды» [2].

Во-вторых, критерии оценки информации для поддержки принятия управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций включают: оперативность, достоверность поступающей информации, позволяющей максимально быстро рефлексировать, объективно отражать изменяющуюся реальность и более адекватно оценивать последствия опасных факторов, формируя долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные прогнозы возможных чрезвычайных ситуаций. Определяющими критериями информационно-управляющих систем являются технические особенности и специфика программной реализации алгоритмизированных оценок показателей безопасности, включающих интеллектуализацию процессов управления и самоорганизацию, характеризующую сложные процессы при условии, что «в робототехнике самоорганизация – это высшая форма адаптивного управления, заключающаяся в управлении структурой систем управления» [6].

И, в-третьих, данное проблемное поле отражает объективированные установки, относящиеся к процессу подготовки, принятия и успешной реализации управленческих решений [8], с учетом динамично изменяющейся обстановки в условиях чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомин, М.Ф. Технологии качества жизни и постиндустриальная эпоха / М.Ф. Фомин // Вопросы философии. – 2016. – № 3. – С. 139–147.
2. Сергеев, С.Ф. Проблемы аутопоэзиса техногенного мира / С.Ф. Сергеев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – № 1 (6). – С. 21–25.
3. Хроколов, В.А. Антропологический кризис в информационном обществе и безопасность личности / В.А. Хроколов, А.А. Соколова // Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных гуманитарных наук. 2018. – № 2. – С. 48–55.
4. Соколова, С.Н. Международная безопасность в информационном обществе: основные функции государственного регулирования / С.Н. Соколова, А.А. Соколова // Информационное право. – 2018. – № 3. – С. 4–7.
5. Соколов, Б.В. Неокибернетика в современной структуре системных знаний / Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 2 (3). – С. 3–11.
6. Лопота, А.В. Самоорганизация в кибернетике и робототехнике / А.В. Лопота, Е.А. Юревич // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 4 (5). – С. 4–5.
7. Иванов, А.Ю. Критерии оценки информации для системы поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] / А.Ю. Иванов, Е.В. Алексеева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2012. – № 4. – С. 1–6. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V44/1.pdf>. – Дата доступа: 25.03.2020.
8. Соколова, А.А. Информационно-управляющие системы в условиях чрезвычайных ситуаций: проблемы и перспективы / А.А. Соколова // Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных гуманитарных наук. – 2019. – № 2. – С. 31–36.

**Информационные технологии управления в условиях чрезвычайных ситуаций:
концептуальные основы**

Information management technology in emergency situations: conceptual framework

Соколова Анастасия Андреевна

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Беларуси», учебно-методический центр,
методист

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: sokolova_jr@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8468-8935

Anastasiya A. Sokolova

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Teacher Resource Center, Methodist

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: sokolova_jr@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8468-8935

Тихонов Максим Михайлович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра гражданской
защиты, начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: timax1978@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7631-8750

Maksim M. Tikhonov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of
Civil Protection of the Ministry for Emergency Sit-
uations of the Republic of Belarus»,
Chair of Civil Protection, Head of Chair

Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: timax1978@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7631-8750

Абдуллаев Адиль Алескеревич

Центр управления в кризисных ситуациях
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Азербайджанской Республики,
начальник центра

Адрес: ул. М.Мушвига, 501,
AZ1073, г. Баку, Азербайджан
e-mail: serge_asv@mail.ru

Adil A. Abdullaev

Crisis Management Center of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic
of Azerbaijan, Head of Center

Address: str. Mushviga, 501,
AZ1073, Baku, Azerbaijan
e-mail: serge_asv@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.353>

INFORMATION MANAGEMENT TECHNOLOGY IN EMERGENCY SITUATIONS: CONCEPTUAL FRAMEWORK

Sokolova A.A., Tikhonov M.M., Abdullaev A.A.

Purpose. To analyse existing information systems taking into account the emphasis on identifying basic criteria in the process of evaluating the information necessary to support making the most effective decisions in emergency situations.

Methods. Comparative analysis has been used in the research.

Findings. The issues related to information technologies and conceptual foundations of management are disclosed, existing information management systems are considered that are purposefully used to prevent and eliminate the consequences of emergencies. The problematic nature of ongoing multidimensional processes related to information structures, as well as information processing principles characterizing the activities of modern information services of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus are disclosed.

Application field of research. The conclusions can be used in civil protection research.

Keywords: post-industrial era, management technologies, risk management, automated information management systems in emergency situations, decision making support system, intellectualization of management processes.

(The date of submitting: March 25, 2020)

REFERENCE

1. Fomin M.F. Tekhnologii kachestva zhizni i postindustrial'naya epokha. [Quality of technology and post-industrial era]. *Voprosy filosofii*, 2016. No. 3. Pp. 139–147. (rus)
2. Sergeev S.F. Problemi autopoezisa tehnogenogo mira [Problems of autopoiesis of the man-made world]. *Robotics and Technical Cybernetics*, 2015. No. 1 (6). Pp. 21–25. (rus)
3. Khrokolov V.A., Sokolova A.A. Antropologicheskiy krizis v informatsionnom obshchestve i bezopasnost' lichnosti [Anthropological Crisis in Information Society and Personal Security]. *Bulletin of Polessky State University. Series in social sciences and humanities*, 2018. No. 2. Pp. 48–55. (rus)
4. Sokolova S.N., Sokolova A.A. Mezhdunarodnaya bezopasnost' v informatsionnom obshchestve: osnovnyye funktsii gosudarstvennogo regulirovaniya [International security in the information society: the main functions of state regulation]. *Informatsionnoe parvo*, 2018. No. 3. Pp. 4–7. (rus)
5. Sokolov B.V., Yusupov R.M. Neokibernetika v sovremennoy strukture sistemnykh znaniy [Neocybernetics in the modern structure of system knowledge]. *Robotics and Technical Cybernetics*, 2014. No. 2 (3). Pp. 3–11. (rus)
6. Lopota, A.V., Yurevich E.A. Samoorganizatsiya v kibernetike i robototekhnike [Self-organization in cybernetics and robotics]. *Robotics and Technical Cybernetics*, 2014. No. 4 (5). Pp. 4–5. (rus)
7. Ivanov A.Yu., Alekseeva E.V. Kriterii otsenki informatsii dlya sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v chrezvychaynykh situatsiyakh [Information evaluation criteria for emergency decision making support system]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii*, 2012. No. 4. Pp. 1–6. Available at: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V44/1.pdf> (accessed: March, 04, 2020). (rus).
8. Sokolova A.A. Informatsionno-upravlyayushchie sistemy v usloviyakh chrezvychaynykh situatsiy: problemy i perspektivy [Information management systems in emergency situations: problems and prospects]. *Bulletin of Polessky State University. Series in social sciences and humanitie*, 2019. No. 2. Pp. 31–36. (rus)

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей для публикации в научном журнале
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси» статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: vestnik@ucp.by. Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, e-mail (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т. п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения – заочная. Полный срок обучения – 5 лет, сокращенный – 3 года.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Проводит:

Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:

1-94 02 73 «Ликвидация чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-94 02 72 «Инжиниринг безопасности объектов строительства» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-94 02 71 «Промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер по промышленной безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непромышленной сферы» с присвоением квалификации «Специалист по охране труда». Срок обучения – 19 месяцев. Форма обучения – заочная (четыре сессии).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о переподготовке на уровне высшего образования.

Повышение квалификации для руководящих работников и специалистов, имеющих высшее или среднее специальное образование, по образовательным программам:

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (для лиц, ответственных за радиационную безопасность, радиационный контроль в организациях медицинского профиля);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (для лиц, ответственных за радиационную безопасность, радиационный контроль на промышленных предприятиях и в научных учреждениях);
- «Осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности» (для лиц, ответственных за осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности на промышленных предприятиях и в научных учреждениях);
- «Осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности» (для лиц, ответственных за осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности в организациях медицинского профиля);

- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Противодействие коррупции» (заочная (дистанционная) форма обучения).

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Пожарно-технический минимум».

Семинары по образовательным программам:

- «Оказание первой помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций)»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Порядок подготовки организации к пожарно-техническому обследованию»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам: математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/заочная (дистанционная) форма обучения).

Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,
тел/факс: (017) 340-71-89 (ФЗО), тел.: (017) 340-69-55, факс: (017) 340-35-58 (ФБЖ).

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>.

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 4, № 3, 2020

Подписано в печать 20.07.2020.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 15,22. Уч.-изд. л. 14,02.
Тираж 110 экз. Заказ 054-2020.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.