

УДК 004.93.11: 504.064.36

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-1-88-95

Разработка обучающей системы оценки последствий землетрясений

М. В. Телегина, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

И. М. Янников, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Першин, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В настоящее время отсутствуют автоматизированные обучающие системы, которые можно было бы использовать в учебных заведениях для знакомства студентов с основами прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций, в частности землетрясений, и проверки полученных ими навыков в результате изучения соответствующей методики. С целью автоматизации и ускорения процесса прогнозирования последствий землетрясения разработана платформа для обучения студентов методике оценки последствий чрезвычайных ситуаций, в частности последствий землетрясений, и проверки полученных ими знаний. Предлагаемая система позволяет в ускоренные сроки оценить последствия произошедших или предполагаемых землетрясений в конкретной местности для большинства видов наземных и подземных зданий и сооружений, а также на основе полученных данных рассчитать силы и ресурсы, необходимые для их ликвидации. Приведена структура системы, подробно описаны функции каждого модуля трех подсистем: обучающей, прогнозирования и администрирования. Показана схема процесса оценки последствий землетрясений и графическая вкладка «Автоматизированная оценка» реализованной системы. Приведены параметры реализации и возможные перспективы развития системы. Отмечается, что разработанная система может дополняться и улучшаться для увеличения функциональных возможностей.

Указанная обучающая система, кроме использования в учебном процессе по подготовке студентов, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность», может использоваться и в системе курсового обучения должностных лиц ГОЧС, на курсах повышения квалификации и на объектах экономики.

Ключевые слова: автоматизированный расчет, оценка последствий землетрясений, обучающая система, изосейсты, географическая карта, данные сооружений.

Введение

Поскольку особенностями ЧС природного характера являются риск их возникновения и развития, определяемый большим количеством факторов локального, регионального, глобального и космического характера с синергетическим эффектом, недостаточная изученность и неоднозначность предвестников ЧС, а также проблема оправдываемости прогнозов опасных природных явлений, к основным задачам, решаемым при оценке и прогнозировании чрезвычайных ситуаций, следует отнести:

- выявление и идентификацию потенциально опасных источников ЧС и зон их воздействия;
- разработку вариантов возникновения и развития ЧС, оценку вероятности их возникновения по различным сценариям и моделирование параметров возможных ЧС;
- оценку возможной обстановки и прогнозирование ЧС и др. [1].

Решение указанных задач в настоящее время невозможно без применения современных средств автоматизации, играющих важную роль не только в сфере компетенции специальных служб, профессионально занимающихся вопросами защиты от чрезвычайных ситуаций, но и в области подготовки обучаемых методам и навыкам действий по оценке и прогнозированию

вероятности возникновения и последствий ЧС, динамике их развития.

Отсутствие современных автоматизированных средств обучения навыкам прогнозирования и оценки последствий возможных ЧС предопределили необходимость разработки системы, которая станет платформой для изучения методики прогнозирования последствий землетрясений и применения на практике полученных знаний.

Необходимо отметить, что в Российской Федерации ежедневно происходит большое количество чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, при этом не всегда удается организовать и провести их оперативную локализацию и ликвидацию последствий в связи с отсутствием полного объема информации о параметрах ЧС либо нарушения (задержки) сроков ее прохождения и недостоверности полученных данных, требующих перепроверки и уточнения [2]. Аналогичная ситуация складывается и при обработке результатов мониторинга потенциально опасных объектов. Мониторинговые наблюдения, проводившиеся на территориях бывших объектов по уничтожению химического оружия, позволили собрать большой объем данных о состоянии окружающей среды, однако полученные разрозненные данные не дают целостной характеристики экологического состояния территории.

Процесс их обработки трудоемок, требует повышенного набора знаний эксперта и больших временных затрат. Вышеуказанную проблему можно решить на основе геоинформационных систем (ГИС) путем создания экологических карт и разработки методики автоматизированной балльной системы оценки остроты экологических ситуаций [3]. Таким образом, автоматизация процессов расчета способствует оперативности решения практических задач оценки масштабов последствий чрезвычайных ситуаций, в том числе и землетрясений на обширных территориях.

Актуальность

Среди существующих систем, которые могут использоваться в учебном процессе, можно выделить разработанную во ВНИИ ГОЧС по заказу МЧС России ГИС «Экстремум» [4]. Основными задачами системы являются: 1) прогнозирование вероятности возникновения ЧС; 2) планирование работ по ликвидации последствий произошедших ЧС. Система состоит из множества подсистем, которые могут оценить последствия наводнений, пожаров, аварий на крупных предприятиях с выбросом химических, радиационных, загрязняющих веществ. Данная система является основным средством, которое используется на государственном уровне. Другие подобные системы не обладают таким широким набором функций и включают в себя только единичные модули, специализирующиеся на конкретных задачах [5, 6]. Точность решения задач этими системами также не превышает либо уступает точности ГИС «Экстремум». Однако указанные системы в большинстве своем рассчитаны на решение задач по моделированию последствий сейсмоопасной ситуации и не предусматривают функции обучения пользователя.

Исходя из анализа имеющейся информации можно констатировать, что в настоящее время не имеется автоматизированных обучающих систем, которые можно было бы использовать в учебных заведениях для ознакомления обучаемых с основами действующих методик прогнозирования последствий землетрясений и проверки полученных ими навыков в результате изучения методики.

Предлагаемое решение

Предлагается автоматизированная обучающая система, основанная на методике оценки последствий землетрясений, разработанной во ВНИИ ГОЧС. Данная методика позволяет спрогнозировать последствия землетрясений на территории городов и регионов, в частности, степень разрушения различных сооружений [7]. Оценить последствия можно как для наземных

зданий, так и для сооружений подземного пространства.

Разработанная система станет платформой, на которой студенты изучат методику прогнозирования последствий землетрясений и применят на практике полученные знания. Кроме того, результаты, получаемые с помощью разрабатываемой системы, позволят быстро оценивать масштаб последствий землетрясения на обширных территориях, что было бы очень сложно без автоматизированных систем. Система позволит в ускоренные сроки оценить последствия произошедших или предполагаемых землетрясений в любой точке мира для большинства видов наземных и подземных зданий и сооружений и на основе полученных данных рассчитать силы и ресурсы, необходимые для их ликвидации. Разрабатываемая система может пополнить список автоматизированных средств обучения (АОС), используемых в ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» для изучения студентами различных предметных областей [8].

От системы не требуется максимальная точность результатов работы и не приветствуется сложность работы, т. к. работать с ней будут студенты в целях обучения и общего знакомства с подобными методиками. Основной функцией должна быть оценка балльности и степени разрушения сооружения, а также обучение методике.

Обучающая подсистема будет разрабатываться по типу тестирующей АОС без обратной связи [9]. Использование такого типа позволит разработать платформу для обучения студентов, не требующую большого объема работ как во время разработки, так и при редактировании заданий, при этом полученная система сможет полностью выполнять требуемые от нее функции.

Обучающая система состоит из 3 подсистем. Каждая подсистема, в свою очередь, состоит из нескольких модулей, выполняющих определенные функции. На рис. 1 представлена структурная схема системы с описанием всех основных модулей подсистем и связей между ними.

Обучающая подсистема содержит модуль теории и модуль тестирования. *Модуль теории* предоставляет возможность просмотра теоретического содержания методики прогнозирования.

При помощи *модуля тестирования* студент проводит тестирование своих знаний и навыков. Модуль должен отбирать некоторый набор задач из общего списка в базе данных. Студент отвечает на вопросы, выбирая варианты ответа из предложенного списка. После завершения тестов выводятся результаты в виде процента правильно выполненных задач и сохраняются в базе данных.

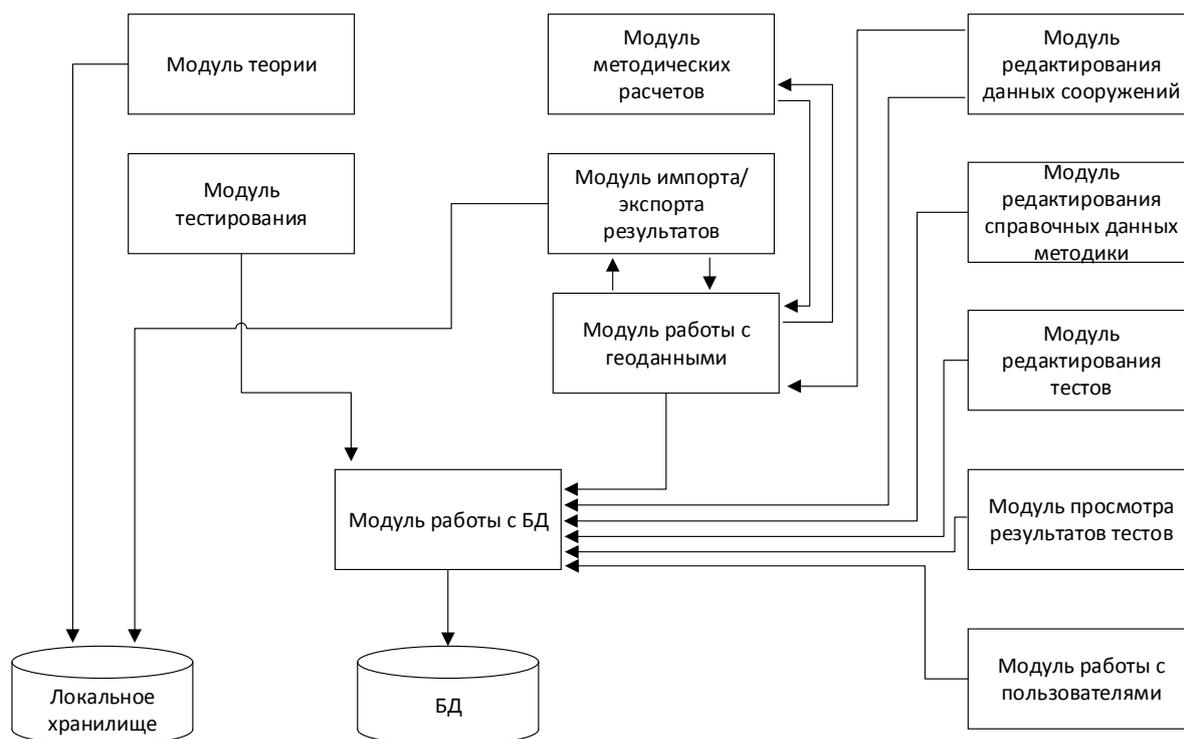


Рис. 1. Структурная схема системы

К подсистеме прогнозирования относятся модуль методических расчетов и модуль импорта/экспорта.

Модуль методических расчетов выполняет расчеты по формулам, используемым в методике прогнозирования. При этом требуется обращение к модулю работы с геоданными, из которого берутся данные сооружений, изосейст, зон балльности. К выполняемым функциям относятся:

- расчет балльности базисной изосейсты;
- расчет расстояния до изосейсты заданной балльности;
- расчет балльности сооружения.

Модуль импорта/экспорта сохраняет результаты прогнозирования последствий во внешнем файле на локальном хранилище или загружает ранее сохраненные данные для просмотра в системе. Модуль выполняет следующие функции:

- сохранение результатов оценки в формате *json* во внешнем файле;
- сохранение результатов оценки в виде отчета в документе *.docx* на основе шаблона методики;
- сохранение экранной копии состояния географической карты в формате изображения *.jpg*;
- импорт сохраненных данных *json* для визуального отображения.

Сохраненные данные *json* должны содержать исчерпывающую информацию о результатах анализа: данные о гипоцентре, изосейстах, зонах балльности, сооружениях. Данные сооруже-

ний должны включать в себя информацию: о координатах, балльности, степени разрушения.

Подсистема администрирования включает в себя: модуль редактирования данных сооружений, модуль редактирования справочных данных методики, модуль просмотра результатов тестирования, модуль редактирования тестов, модуль работы с пользователями.

Модуль редактирования данных сооружений должен предоставить возможности по добавлению данных о сооружениях (геометрия на карте, характеристики) в базу данных и редактированию атрибутов существующих сооружений.

Модуль редактирования справочных данных методики предназначен для просмотра и редактирования справочных данных, используемых системой при прогнозировании последствий землетрясения. Редактирование должно происходить путем изменения необходимых полей в таблицах базы данных.

Модуль просмотра результатов тестирования будет позволять преподавателю просматривать данные об успеваемости студентов (успешность выполнения тестов). При работе с модулем преподаватель должен выбрать интересующего студента и получить данные выполненных тестов.

С помощью *модуля редактирования тестов* преподаватель сможет изменять состав задач, используемых при тестировании студентов (постановки задач, варианты ответов).

Модуль работы с пользователями должен иметь функции по регистрации новых пользователей системы и редактированию данных зарегистрированных пользователей.

Общие модули, которые могут использоваться несколькими подсистемами: модуль работы с геоданными, модуль работы с базой данных.

Модуль работы с геоданными будет использоваться для обработки и визуального отображения географических данных о гипоцентре, изосейстах, зонах балльности и сооружениях. Геоданные должны отображаться над подложкой виртуальной географической карты.

Модуль работы с базой данных содержит функции для осуществления запросов к базе

данных по получению, редактированию, добавлению и удалению данных.

Реализация системы

Обучающая система программно реализована с использованием языка Java 8.0 и среды разработки NetBeans IDE 8.2.

При проектировании БД выделены сущности базы данных и их атрибуты. Для хранения данных о сооружениях в сущностях необходимо хранить атрибуты, содержащие геометрию сооружения на карте, и его центроид, который позволит определять точную среднюю балльность сооружения. Результат концептуального проектирования БД представлен на рис. 2 в виде концептуальной схемы.

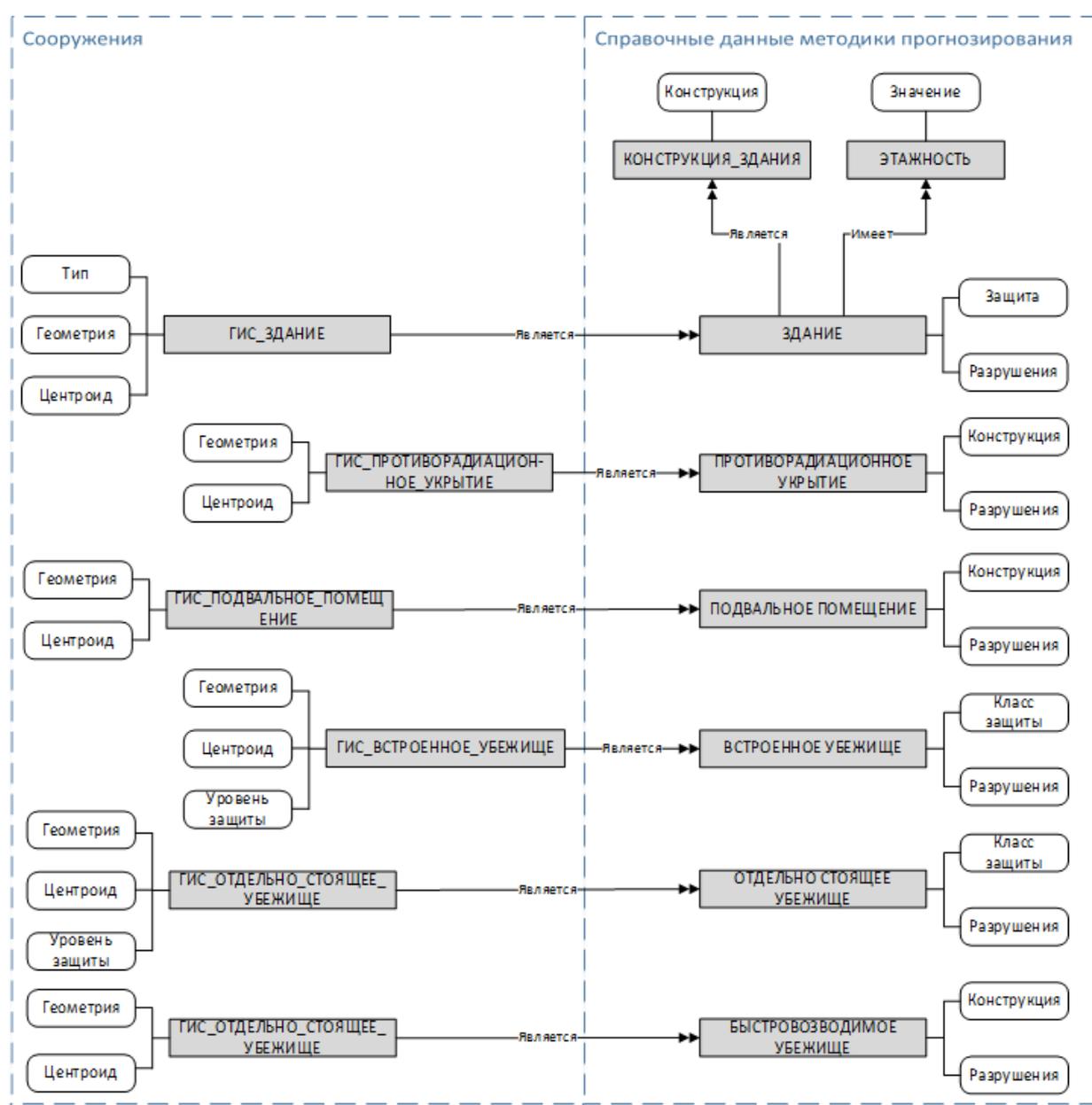


Рис. 2. Концептуальная схема

При разработке физической модели базы данных использована СУБД PostgreSQL с модулем Postgis для обработки пространственных географических данных [10, 11]. Информационная связь системы с базой данных происходит с использованием протокола TCP/IP. Импорт/экспорт данных системы осуществляется в форматах json-файла и документа .docx. Физический сервер системы должен иметь постоянное подключение к сети Интернет и поддерживать связь по протоколу HTTP.

Схема процесса оценки последствий землетрясения показана на рис. 3.

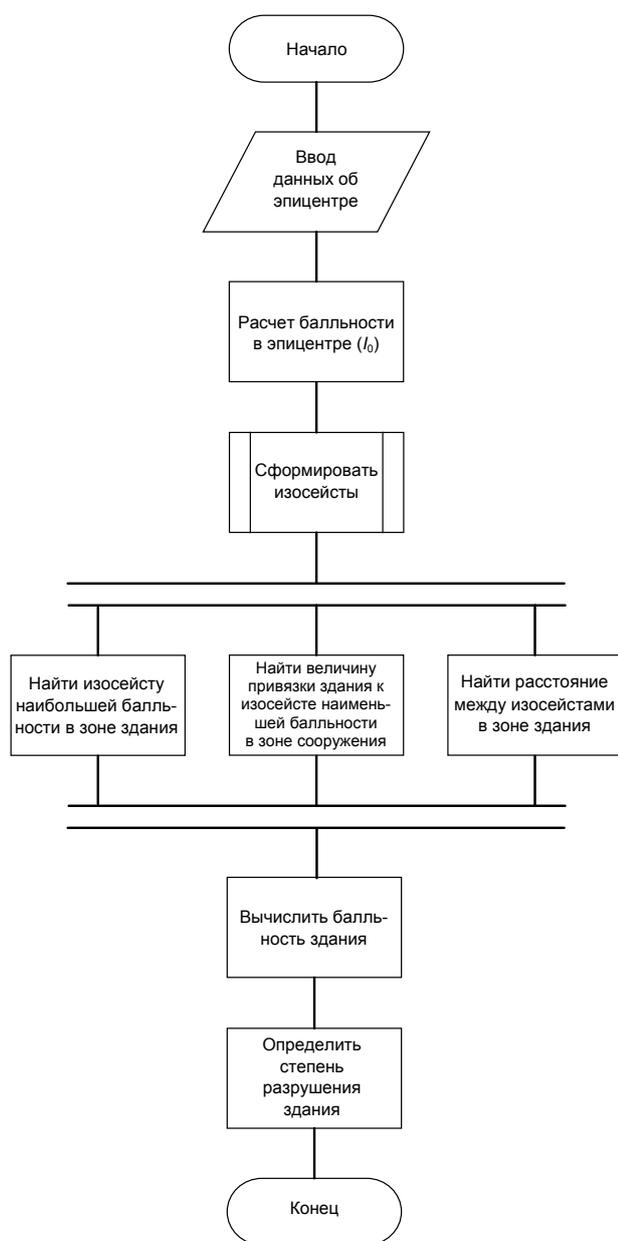


Рис. 3. Схема процесса

Процесс оценки последствий землетрясения состоит из четырех основных этапов: формирование изосейст на основе данных об эпицентре, определение переменных для вычисления, оценка балльности сооружения по полученным данным об изосейстах, определение степени разрушения.

Для расчета балльности землетрясения в эпицентре использованы входные данные: M – мощность очага землетрясения в гипоцентре, магнитуда; h – глубина очага землетрясения (км) В результате расчета получаем I_0 – балльность землетрясения в эпицентре:

$$I_0 = 1,5M - 3,5 \lg h + 3. \quad (1)$$

Для вычисления радиуса изосейсты землетрясения R (радиус искомой изосейсты) необходимы входные данные: h – глубина очага землетрясения (км); I_0 – балльность землетрясения в эпицентре; I_6 – балльность искомой изосейсты. Расчет производит следующим образом:

$$I_6 = x | x \in [4...12], x < I_0, \quad (2)$$

$$x \in \mathbb{N} \dots R = h \sqrt{10^{0,57} (I_0 - I_6) - 1}.$$

Алгоритм определения области средней балльности:

1) вычисляется Z_n путем математического округления I_0 ;

2) вычисляется $R_{\text{внеш}}$ по формуле (2), где $I_6 = i - 0,5$;

3) вычисляется $R_{\text{внут}}$: если $i + 0,5 \leq Z_n$, то по формуле 2, где $I_6 = i + 0,5$; иначе 0.

Здесь I_0 – балльность землетрясения в эпицентре; i – средняя балльность искомой зоны балльности; $R_{\text{внут}}$ – внутренний радиус зоны балльности; $R_{\text{внеш}}$ – внешний радиус зоны балльности.

Для определения величины балльности землетрясения, которая будет воздействовать на сооружение, используем следующие данные:

I_1 – изосейста наибольшей балльности, ограничивающая зону, в которой находится здание или сооружение, баллы;

R_3 – величина привязки здания или сооружения к изосейсте наименьшей балльности, ограничивающей зону, в которой находится здание или сооружение, м;

R_1 – расстояние между изосейстами наибольшей и наименьшей балльности, ограничивающими зону, в которой находится здание или сооружение, м;

$$I_3 = I_6 + \frac{(I_1 - I_6)R_3}{R_1}. \quad (3)$$

Тестирование системы

Тестирование системы проводилось с реальными тестовыми данными территории г. Ижевска, Октябрьский район. Вместе с реальными данными в базе данных использованы предполагаемые сооружения, необходимые для тести-

рования работы системы со всеми видами сооружений. Графическая вкладка реализованной системы «Автоматизированная оценка» (рис. 3) содержит форму расчета последствий землетрясения одного сооружения. При нажатии на кнопку «карта» на данной вкладке открывается новая группа элементов с виртуальной географической картой для оценки последствий землетрясения у всех сооружений.

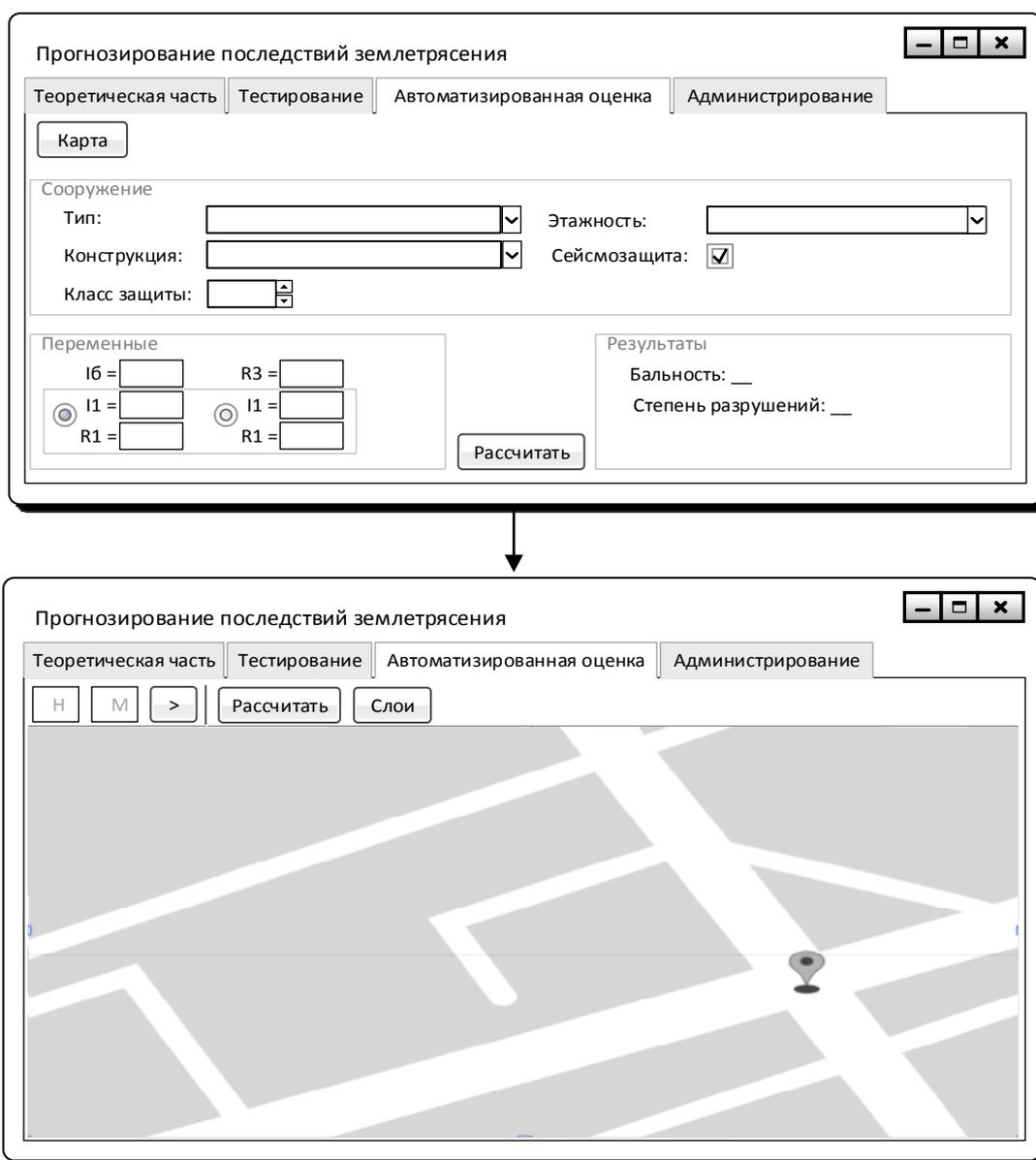


Рис. 3. Графическая карта вкладки «Автоматизированная оценка»

Заключение

Таким образом, с целью автоматизации и ускорения процесса прогнозирования последствий землетрясения создана платформа для обучения студентов методике и проверки полученных ими знаний. Система позволяет в ускоренные сроки оценить последствия произошедших или

предполагаемых землетрясений в конкретной местности для большинства типов наземных и подземных зданий и сооружений и на основе полученных данных рассчитать силы и ресурсы, необходимые для их ликвидации.

Разработанная система может дополняться и улучшаться для увеличения функциональных

возможностей. В данный момент в перспективе развития системы можно реализовать:

1. Учет данных о сейсмическом микрорайонировании – изменении балльности землетрясения по сравнению с ее исходной величиной в данной местности на основе свойств грунтов.

2. Построение отчета о разрушениях с группировкой для отдельных территорий (городов, регионов, пользовательских выделенных районов).

3. Определение динамики разрушения сооружений при землетрясениях – вычисление времени наступления первой и главной фаз землетрясения и время между ними.

4. Вычисление потерь среди населения.

Библиографические ссылки

1. Фалеев М. И. Актуальные проблемы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в рамках реализации государственной политики в области защиты населения и территорий от бедствий и катастроф. 2018 [Электронный ресурс]. URL: http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/1881/54/Proc_STS-2018_8-12.pdf.

2. Оптимизация информационных потоков в органах повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций / И. М. Янников, Н. В. Митрофанова, М. В. Телегина, Т. Г. Габричидзе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 6(2). С. 402–409.

3. Янников И. М., Латыпова И. А. Телегина М. В. Применение ГИС-технологий в области анализа риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера территорий // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 2 (29). С. 81–85.

4. ГИС «Экстремум» / gistech.ru [Сайт]. (2011–2019). URL: <http://gistech.ru/index.php/ru/primenenie-gis/v-silovykh-strukturakh/gis-ekstremum> (дата обращения: 17.05.2019).

5. Нигметов Г. М., Салтыкова О. М., Скоробогатая А. С. Развитие моделей по прогнозированию последствий разрушительных землетрясений // Civil Security Technology. 2012. Vol. 9. № 3 (33).

6. Хаустов С. Н., Бобров А. И. Подсистема оценки последствий чрезвычайной ситуации при землетрясении / cyberleninka.ru [Сайт] (2004–2019). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podsistema-otsenki-posledstviy-chrezvychaynoy-situatsii-pri-zemletryaseni-i/viewer> (дата обращения: 02.11.19)

7. Методика прогнозирования последствий землетрясений (МЧС России, ВНИИ ГОЧС, ЦИЭКС и СЦ ИГЭ РАН, Москва, 2000 г.). Российское научное общество анализа рисков / sra-russia.ru [Сайт] (2004–2019). URL: http://www.sra-russia.ru/e_docs/prirodnyech/opasnye-geofizicheskie-yavleniya (дата обращения: 16.05.2019).

8. Ахметов Л. Г., Файзрахманов И. М. Роль виртуальных учебных пространств в подготовке специа-

листов к профессиональной конкуренции. // Вестник ИжГТУ. 2007. № 2 (34). С. 77–80.

9. Мельников А. В., Цытович П. Л. Принципы построения обучающих систем и их классификации docplayer.ru [Сайт] (2011–2019). URL: <https://docplayer.ru/40191491-Principy-postroeniya-obuchayushchih-sistem-i-ih-klassifikaciya.html> (дата обращения: 04.11.19).

10. PostgreSQL – The world's most advanced open source database / postgresql.org [Сайт]. (2011–2019). URL: <https://www.postgresql.org> (дата обращения: 05.04.2019).

11. Postgis – Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL / postgis.net [Сайт]. (2011–2019). URL: <https://postgis.net> (дата обращения: 05.04.2019).

References

1. Faleev M.I. *Aktualnye problemy monitoringa i prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij v ramkah realizacii gosudarstvennoj politiki v oblasti zashity naseleniya i territorij ot bedstvij i katastrof* [Actual problems of monitoring and forecasting emergency situations in the framework of the implementation of state policy in the field of protecting the population and territories from disasters and disasters]. 2018 [Electronic resource]. Available at: URL: http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/1881/54/Proc_STS-2018_8-12.pdf.

2. Yannikov I.M., Mitrofanova N.V., Telegina M.V., Gabrichidze T.G. [Optimization of information flows in the day-to-day management bodies of the unified state system for the prevention and liquidation of emergency situations]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, vol. 20, no. 6, 2018, pp. 402–409 (in Russ.).

3. Yannikov I.M., Latypova I.A. Telegina M.V. [The use of GIS technologies in the field of analysis of the risk of emergency situations of the natural and technogenic nature of territories]. *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*. 2016. No. 2. Pp. 81–85 (in Russ.).

4. GIS "Extreme" / gistech.ru [Site]. (2011–2019). Available at: <http://gistech.ru/index.php/ru/primenenie-gis/v-silovykh-strukturakh/gis-ekstremum> (date of access: 17.05.2019) (in Russ.).

5. Nigmatov G.M., Saltykova O.M., Skorobogataya A.S. [Development of models for predicting the effects of devastating earthquakes]. *Civil Security Technology*, vol. 9, 2012, no. 3.

6. Khaustov S.N., Bobrov A.I. *Podсистема ocenki posledstvij chrezvychajnoj situacii pri zemletryaseni* [Subsystem for assessing the consequences of an emergency during an earthquake] / cyberleninka.ru [Site] (2004–2019). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/podsistema-otsenki-posledstviy-chrezvychaynoy-situatsii-pri-zemletryaseni-i/viewer> (date of access: 02.11.19) (in Russ.).

7. *Metodika prognozirovaniya posledstvij zemletryaseni (MChS Rossii, VNIIGOCHS, CIEKS i SC IGE RAN, Moskva, 2000 g.)*. *Rossijskoe nauchnoe obshestvo analiza riskov* [Methodology for predicting the effects of earthquakes (EMERCOM of Russia, VNIIGOCHS,

TSEKS and SC IGE RAS, Moscow, 2000) - Russian Scientific Society for Risk Analysis] / sra-russia.ru [Site]. (2004-2019). Available at: http://www.sra-russia.ru/e_docs/prirodnye-chs/opasnye-geofizicheskie-yavleniya (date of access: 16.05.2019) (in Russ.).

8. Akhmetov L. G., Fayzrakhmanov I. M. [The role of virtual learning spaces in the preparation of specialists for professional competition]. Vestnik IzhGTU. 2007. No. 2. Pp. 77-80 (in Russ.).

9. Melnikov A.V. Tsytoovich P.L. *Principy postroeniya obuchayushih sistem i ih klassifikacii* [The principles of constructing training systems and their classifica-

tion] docplayer.ru [Site]. (2011-2019). Available at: <https://docplayer.ru/40191491-Principy-postroeniya-obuchayushchih-sistem-i-ih-klassifikaciya.html> (date of access 04.11.19) (in Russ.).

10. PostgreSQL – The world’s most advanced open source database / postgresql.org [Site]. (2011-2019). Available at: <https://www.postgresql.org> (date of access: 04.05.2019).

11. Postgis – Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL / postgis.net [Site]. (2011-2019). Available at: <https://postgis.net/> (date of access: 05.05.2019).

Development of Training System for Earthquake Impact Assessment

M. V. Telegina, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

I. M. Yannikov, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A. V. Pershin, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Currently, there are no automated training systems that could be used in educational institutions to familiarize students with the basics of predicting the consequences of emergencies, in particular earthquakes, and testing their skills as a result of studying the appropriate methodology.

In order to automate and accelerate the process of forecasting the consequences of an earthquake, a platform has been developed for teaching students how to assess the consequences of emergencies, in particular the effects of earthquakes, and to verify their knowledge. The proposed system makes it possible to quickly evaluate the consequences of earthquakes that have occurred or are expected in a particular area for most types of ground and underground buildings and structures, and also based on the data obtained, calculate the forces and resources needed to eliminate them. The structure of the system is given in the paper, functions of each module of three subsystems are described in details: training, forecasting and administration. A diagram of the process of assessing the effects of earthquakes and a graphical tab “Automated assessment” of the implemented system are shown. The implementation parameters and possible prospects for the development of the system are given. It is noted that the developed system can be supplemented and improved to increase functionality.

The specified educational system, in addition to the use in the educational process for the training of students studying in the field of "Technosphere Security", can be used in the course training system for officials of the Civil Defense and Emergencies Ministry, at refresher courses and at economic facilities.

Keywords: automated calculation, earthquake impact assessment, training system, isoseismists, geographical map, data of structures.

Получено: 04.12.2019