

Программные системы и комплексы

УДК 004.9

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.013

Геоинформационная система поддержки принятия решений по действиям при угрозе размыва путей на Улан-Баторской железной дороге

Аршинский Леонид Вадимович¹, Знайдюк Алексей Николаевич¹, Кириллова Татьяна Климентьевна¹, Старцев Сергей Петрович², Сэлэнгэ Мунхсайхан^{1,2}

¹Иркутский государственный университет путей сообщения,
Россия, Иркутск, *kirillova_tk@irgups.ru*

²Улан-Баторская железная дорога,
Монголия, Улан-Батор

Аннотация. В работе описана система поддержки принятия решений (СППР) по действиям в условиях угрозы размыва путей для Улан-Баторской железной дороги. Кратко представлена информация о дороге, описаны геоклиматические условия её функционирования. Дана математическая модель километрового расчёта угрозы размыва железнодорожных путей в зависимости от метеорологического прогноза, состояния пути и наличия искусственных сооружений. Рассматриваются состав СППР, её функциональность и общие принципы работы.

Ключевые слова: геоинформационная система, система поддержки принятия решений, Улан-Баторская железная дорога, размыв путей, система контроля опасности размыва дороги

Цитирование: Л.В. Аршинский. Геоинформационная система поддержки принятия решений по действиям при угрозе размыва путей на Улан-Баторской железной дороге / Л.В. Аршинский, А.Н. Знайдюк, Т.К. Кириллова, С.П. Старцев, М. Сэлэнгэ // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 1(37). – С. 130-142. – DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.013.

Введение. Улан-Баторская железная дорога (УБЖД) – один из важнейших компонентов транспортного комплекса Монголии. История железнодорожного сообщения в Монголии началась с соглашения о взаимопомощи между правительствами Монгольской народной республики (МНР) и СССР в 1936 году, когда постановлением Президиума Центрального Комитета Монгольской Народно-Революционной партии от 09 октября 1936 года № 26, премьер-министру МНР А. Амару и члену президиума Центрального Комитета партии Р. Мэнду было поручено приступить к организации работ по строительству железной дороги. В результате в августе 1938 года была открыта узкоколейная линия Налайх – Улан-Батор длиной 43 км, построенная с участием советских специалистов и на предоставленные Советским Союзом кредитные средства. Спустя одиннадцать лет в 1949 г. была проложена, а в 1950 г. сдана в постоянную эксплуатацию линия «Наушки – Улан-Батор». Также в 1949 году было учреждено совместное монголо-советское акционерное общество «Улан-Баторская железная дорога».

К настоящему времени УБЖД – это крупнейший экономический субъект Монголии. Общая протяженность железнодорожных линий составляет 1815 км. Основной линией является Трансмонгольская магистраль Сухэ-Батор – Улан-Батор – Дзамын-Уд протяженностью 1111 км, связывающая между собой Россию, Монголию и Китай [1] (рис. 1).

Одной из серьёзных проблем эксплуатации дороги являются сложные погодные условия, обусловленные географическим положением Монголии. Территория страны – это, фактически, горное плато, расположенное примерно на высоте 1,5 км над уровнем моря. При этом, если на севере и западе преобладают горы, юг – пустынный, здесь расположена пустыня Гоби; в центральной и восточной частях преобладают равнины [2].

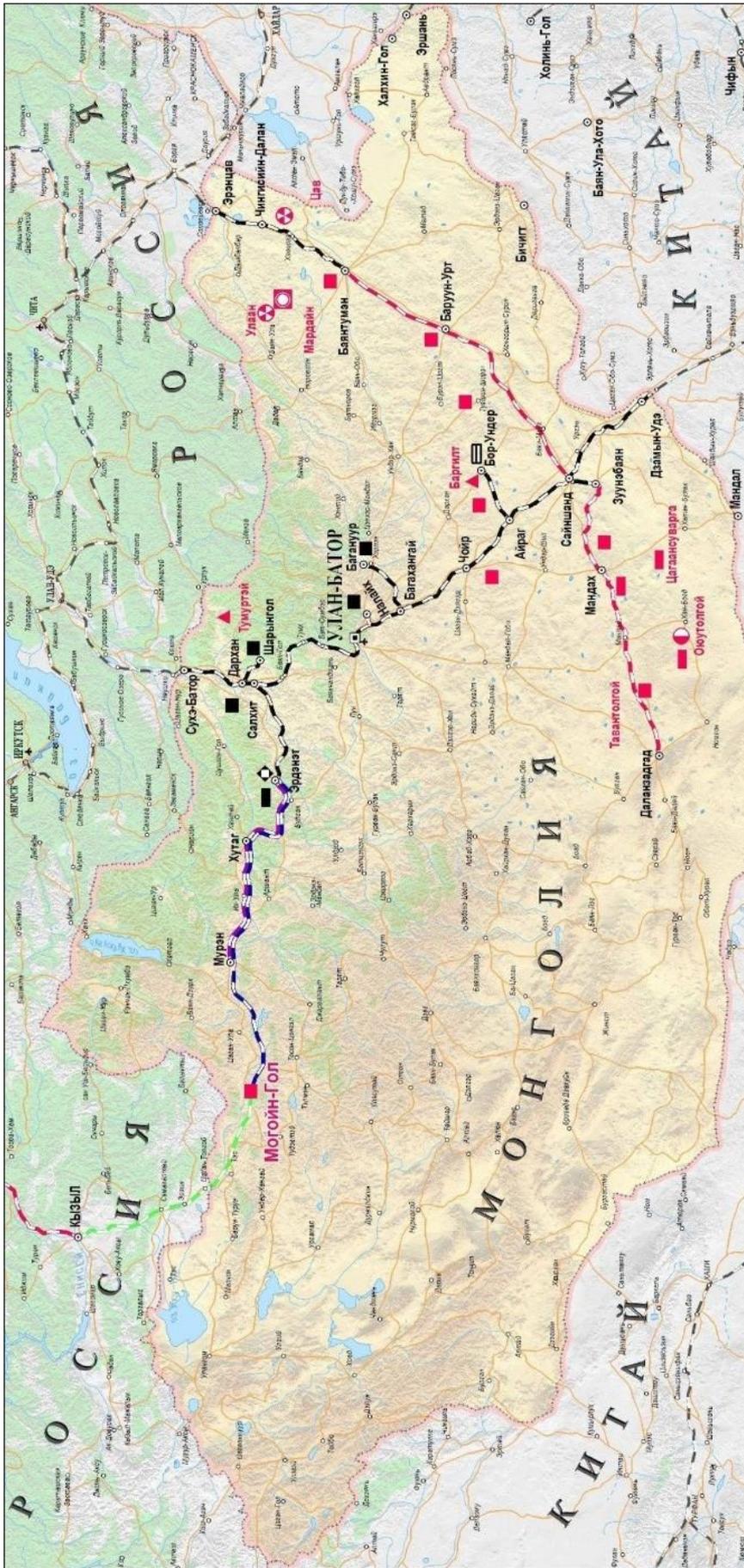


Рис. 1. Схема Улан-Баторской железной дороги с действующими и перспективными направлениями. Черным цветом обозначены действующие направления, красным и синим – перспективные

Несмотря на общий сухой резко-континентальный климат, персонал дороги ежегодно сталкивается с проблемой размыва путей, обусловленных влиянием паводков. Среднегодовое количество осадков в Монголии составляет 250 мм. При этом на севере в горах, прилегающих к озеру Хубсугул, их выпадает до 400 мм, на юге, в пустыне Гоби, – около 40 мм; 85 % годового количества осадков выпадает с апреля по сентябрь [2]. Поскольку осадки распределены неравномерно географически и по сезонам, в период с апреля по сентябрь возникает угроза размыва путей. Особенно опасны в этом смысле внезапные ливни, которые в условиях гористой местности приводят к движению по горным склонам больших масс воды, способных за короткий срок разрушить дорожное полотно и привести к остановке движения.

Прогнозирование размывов. В настоящее время ликвидация последствий размывов ведётся в основном «по факту»: по получении сигнала о событии бригады выезжают на место, оценивают обстановку и принимают необходимые меры. Безусловно, для противодействия размывам полотно дороги снабжено искусственными сооружениями (ИССО): мостами, водопропускными трубами и т.д., но осадки могут превышать их возможности [3]. Поскольку между событием размыва и началом ликвидации его последствий существует временной лаг, масштаб негативных последствий со временем нарастает.

Для эффективной борьбы с размывами более эффективной стратегией является предсказание возможности подобных событий по месту и времени для своевременной подготовки парирующих мероприятий [4–6]. Для этого Гидрометцентр Монголии снабжает УБЖД прогнозами погоды по всей протяженности дороги.

Для предсказания места возможного размыва с учётом прогноза погоды и наличия ИССО разработана модель, рассчитывающая уровень угрозы. Модель учитывает такие характеристики обстановки, как:

1. Состояние земляного полотна.
2. Характеристика пути.
3. Высота насыпи.
4. Наличие прилегающих искусственных сооружений (ИССО).
5. Изменение естественного характера водотока относительно железной дороги за счет строительства.
6. Состояние водоотводных канав.
7. Наличие и состояние водораздельных и водооградительных дамб.
8. Наличие и состояние конуса скрепления.
9. Состояние ИССО по водопропускной способности.
10. Площадь водосбора.
11. Рельеф местности с уклонами к железнодорожному пути.
12. Предполагаемая скорость потока воды.
13. Направление потока воды к насыпи железной дороги.
14. Наличие притрассовых автодорог.
15. Обеспеченность материалами и инструментом для водоборьбы.
16. Стаж работников, участвующих в предупреждении/ликвидации последствий.

Характеристики имеют числовые интервальные или лингвистические значения. Например, первая – значения: щебень, песок, гравий; вторая учитывает тип шпал: железобетонные, комбинированные, деревянные; третья характеризуется числовыми интервалами: от 4.6 до 6 м и более, от 3.1 до 4.5 м, от 1,6 до 3 м., от 1,1 до 1,5 м, от 0 до 1 м, и так далее. Более подробно с этим вопросом можно ознакомиться в работах [6–8].

Общая угроза вычисляется, как сумма вкладов каждой из характеристик $d(X_i)$, умноженных на меру их значимости $k(X_i)$ с последующим умножением на зависящий от времени показатель прогноза осадков $w(t)$, который принимает значения от нуля и выше

(нулевое значение $w(t)$ – прогноз отсутствия осадков); вклады $d(X_i)$ и значимости $k(X_i)$ задаются специалистами экспертно [6-8]:

$$D(t) = w(t) \cdot \sum_{i=1}^{16} k(X_i) d(X_i). \quad (1)$$

Здесь t – время (дискретность три часа, прогнозный интервал трое суток).

Согласно (1) при минимальных или отсутствующих по прогнозу осадках опасность размыва минимизируется или вовсе обнуляется.

Суммарный показатель D попадает в один из следующих интервалов (уровней опасности):

- опасность отсутствует ($D \leq 50$) – зелёный уровень;
- средний уровень ($50 < D \leq 84$) – жёлтый;
- высокий уровень ($84 < D \leq 120$) – оранжевый;
- очень высокий уровень ($120 < D$) – красный.

Предполагается, что в зависимости от величины показателя $D(t)$ соответствующие службы будут заранее принимать необходимые меры: готовиться к выезду или выезжать на предполагаемое место, готовить технику, оборудование и так далее. Перечень управленческих решений дан в таблице 1.

Таблица 1. Управленческие решения при угрозе размыва пути

Управленческие рекомендации.	Критерии опасности			
	красный	оранжевый	жёлтый	зелёный
Закрытие или ограничение движения	▼	▼		
Выставление постов безопасности	▼	▼		
Направление противоразмывных поездов на приграничные станции	▼			
Направление землеройной техники для распределения потоков воды	▼	▼	▼	
Отмена всех планово-предупредительных и неотложных работ на участке	▼			
Обеспечение готовности к аварийно-восстановительным работам специальной техники и восстановительного поезда	▼	▼		
Организация дополнительного осмотра пути для выявления разрушений, выплесков, переувлажнения земляного полотна, угрожающих безопасности движения	▼	▼	▼	

Основанная на такой модели угроз система поддержки принятия решений (СППР) изначально была реализована в простейшей форме в виде электронной таблицы, в которую с покิโลметровым интервалом заносятся сведения о характеристиках $d(X_i)$ и $k(X_i)$ (рис. 2, цветом отмечены характеристики). После покิโลметрового расчёта показателя $D(t)$ строки, соответствующие значимой величине угрозы для заданного момента времени, выделяются цветом согласно вышеуказанной схеме: жёлтым (средний уровень угрозы), оранжевым (высокий уровень) и красным (очень высокий уровень). Зелёный уровень не выделяется, чтобы не отвлекать внимание.

В зависимости от ситуации на каждом километре, в расчёте участвуют соответствующие столбцы таблицы.

КМ	ПК	Род сооружения	Числа и значения параметров в пасп.м	Год постройки	Состояние земельного полотна	Характеристика пути	Высота насыпи	Наличие ИССО	Изменение естественного характера водотока относительно ж.д. за счет строительства автодорог	Состояние водотоков канав	Водораздельные и водоградительные дамбы	Укрепления конуса	Состояние ИССО по водопропускной способности	Площадь водосбора	Рельеф местности с уклонами с ж.д. пути, %	Скорость потока воды	Направление потока воды к насыпи ж.д.	Наличие протрассовых автодорог
ОЦЕНКА РИСКА																		
11	2	ЖЕМ	1949	3	3	3	4	5	4	3	3	1	3	3	3	3	3	3
8	ЖЕМ	1949	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	7	ЖЕМ	1949	3	3	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	ЖЕМ	1949	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
14	1	ЖЕМ	1949	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
15				3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	4	ЖЕМ	1949	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	1	ЖЕМ	8,9	1948	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	8	ЖЕМ	1948	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
19	5	ЖЕМ	1948	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20	2	ЖЕМ	1948	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
21	3	ЖСТ	1948	3	3	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	ЖСТ	1948	3	3	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	ЖСТ	1948	3	3	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	8	ЖСТ	1948	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10	ЖСТ	1948	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10	ЖСТ	1948	3	3	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Рис. 2. Фрагмент таблицы характеристик

Развитием табличного подхода к СППР стала её разработка в виде геоинформационной системы (ГИС) СКОРД 1.0, отображающей прогноз на карте и выдающей рекомендации по мерам противодействия.

Система контроля опасности размыва дороги СКОРД. Рассмотрим возможности СППР СКОРД. Система осуществляет мониторинг опасности возможного размыва участков земляного полотна и искусственных сооружений Улан-Баторской железной дороги, с использованием современных геоинформационных технологий, а также возможностью мониторинга состояния ИССО. ПО реализовано как веб-приложение с использованием ГИС-технологий.

Архитектура веб-приложения клиент-серверная, где клиенты – рабочие компьютеры, через которые пользователи отправляют запросы, а сервером является отдельная машина, обрабатывающая запросы пользователей, например, отображения информации на карте о рисках размыва, загрузка новых данных, введенных пользователями. Такая архитектура позволяет работать с веб-приложением нескольким пользователям (рисунки 3, 4). Серверная часть реализуется на Django. Система содержит компоненты:

1. Клиент – устройство, либо ПО, которое пользователь использует для своих целей. Аппаратные средства (терминалы, планшеты) выступают в роли «тонких клиентов», Клиенты отправляют серверу в виде особого кода запрос на получение сведений. Клиент включает:
 - 1.1. Модули системы: авторизация, личный кабинет, где хранятся сведения о пользователе и приходят уведомления с риском размыва и необходимыми управленческими рекомендациями по оперативным мерам.
 - 1.2. Интерактивная карта (googlemap карта) представляет собой прослойку между клиентом и сервером. С её помощью пользователь может видеть необходимые ему данные с окрашиванием дороги в три цвета.
 - 1.3. Мессенджер, реализованный по типу «Телеграмма», дает возможность обмениваться сообщениями и файлами.
2. Сервер – место хранения веб-приложения. В процессе отправки запросов и предоставления ответов он выполняет обработку запросов, производит вычисления, хранит информацию.

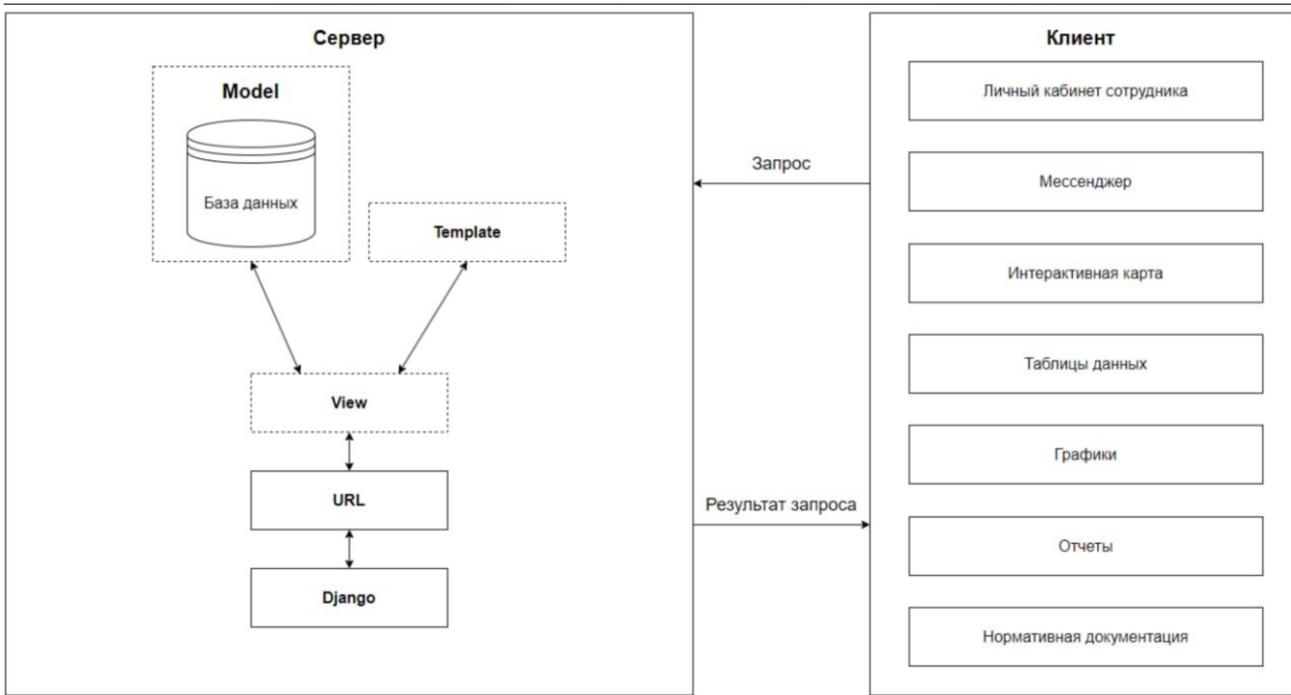


Рис. 3. Архитектура веб-приложения

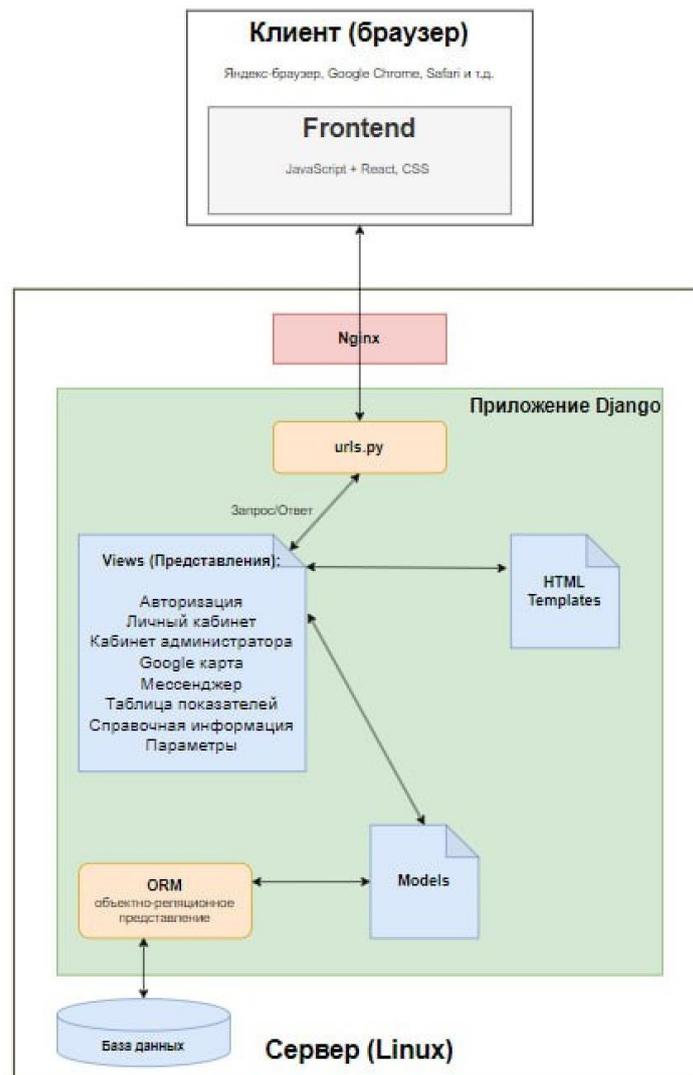


Рис. 4. Сервер Django

Для хранения информации была спроектирована реляционная база данных, которая содержит 19 таблиц и работает под управлением СУБД PostgreSQL.

На основе требований УБЖД и исследований, проведенных в работах [9-11], определена функциональность приложения, которая включает:

- прогнозирование места (участки дороги), где есть риск размыва пути с указанием степени опасности (жёлтая зона – средний уровень риска, оранжевая зона – опасная, с вероятностью размыва, красная зона – очень высокий уровень риска) на основе данных об ожидаемом количестве осадков (ручной и автоматизированный ввод);
- выдачу рекомендаций о необходимом комплексе управленческих решений при оперативном планировании мероприятий;
- формирование отчётов, содержащих таблицу данных (рис. 2), гистограммы по семнадцати показателям с фильтром по календарю и выборкой по километрам (в форматах PDF и Excel);
- осуществление автоматической рассылки уведомлений о рисках размыва пути (уровень риска и километр), в виде всплывающего сообщения; более подробное уведомление отправляется в личный кабинет пользователя;
- мессенджер, позволяющий осуществлять рассылку публичных и личных сообщений пользователям, создавать группы, прикреплять файлы;
- функцию добавления характеристик строения пути и построения аналитических графиков за разные промежутки времени, возможность сделать выборку по рисковому километрам дороги;
- интерактивную карту железной дороги на основе технологии API Google Map, показывающую уровень риска размыва с окрашиванием дороги в цвет опасности;
- возможность прикрепления фото- и видеоматериалов на карту для визуализации объектов ИССО;
- возможность добавления/удаления административно-правовых документов (вкладка «Справочная информация»).
- другие функции.

Для корректной работы системы можно использовать браузеры, обеспечивающие полную совместимость со стандартами: HTML5, CSS 2.0 и выше, JavaScript, EcmaScript.

Рекомендуемое ПО:

1. Google Chrome версия не ниже 84.X.
 2. Mozilla Firefox версия не ниже 79.X.
- СППР СКОРД поддерживает два языка:

- русский;
- монгольский.

Язык выбирается при регистрации/входе пользователя в веб-приложение. Для этой цели предусмотрен соответствующий интерфейсный элемент.

Работа с СППР СКОРД. Процесс начинается, с того, что гидрометцентр Монголии присылает прогноз погоды по участкам и времени. Эти данные соответствующим образом обрабатываются и заносятся в базу данных (БД). Данные прогноза динамические – изменяются каждые три часа. После обработки данных выполняется покилометровый расчет согласно (1). Результаты также заносятся в БД.

По итогам расчёта в личные кабинеты сотрудников дороги автоматически рассылаются управленческие рекомендации и короткие всплывающие уведомления об угрозе (средний, высокий и очень высокий риск размыва) – рисунок 5.



Рис. 5. Всплывающие уведомления

Функциональность системы сгруппирована по следующим основным блокам: Справочная информация; Чаты; ГИС «Карта»; Отчеты; Личный кабинет; Личный кабинет администратора.

Расчет базовых показателей риска размыва осуществляется согласно (1) с учетом весовых коэффициентов $k(X_i)$ и показателя уровня прогнозируемых осадков $w(t)$. Система позволяет добавлять показатели и редактировать их.

Для работы с нормативно-справочной информацией служит раздел «Справочники». После входа в него будут доступны справочники: Нормативные документы; Акты; Приказы; Распоряжения.

Для работы со справочниками в системе предусмотрены такие функции, как:

- 1) добавление новой записи в справочник;
- 2) редактирование выбранной записи;
- 3) удаление выбранной записи;
- 4) поиск записей справочника, удовлетворяющих заданным критериям.

Функции добавления, редактирования и удаления доступны пользователю только при наличии соответствующих прав.

Мессенджер используется для мгновенного обмена текстовыми сообщениями и мультимедиа между зарегистрированными пользователями через интернет с возможностью прикрепления файлов. Основные элементы интерфейса:

- список чатов и групп;
- основной блок для просмотра содержимого чатов и групп;
- переход в главное меню;
- поле для полнотекстового поиска над списком чатов и групп.

Функциональность чата включает следующие возможности:

- сопровождение до 200 участников в приватном или публичном чате;
- сопровождение до 3 администраторов чата;
- упоминания, ответы, пересылка сообщений, а также отметки о прочтении;
- общение с другими пользователями один на один или в групповых беседах;
- отправление текстовых, а также фото-, видео- и иных файлов;
- связь с коллегами в рабочем пространстве, используя адресную книгу организации;
- для себя лично чат можно использовать как блокнот или облачное хранилище.

Лимиты для сообщений:

- максимальная длина текста в одном сообщении (посте) 4096 символов; при публикации текста большего размера он автоматически будет разделен на несколько сообщений;
- к одному сообщению можно прикрепить до 6 файлов (фото или видео) объемом до 2 Гб;
- сообщение с медиафайлами может содержать до 1024 символов.

Если создать группу, появляется возможность общаться с несколькими собеседниками одновременно. Для группы и канала можно установить фото, добавить и изменить название. Сообщения, которые пишутся в группе, видны всем. Группой можно управлять, назначив администратора (по умолчанию администратор – создатель группы). Администратор может добавлять и удалять участников.

ГИС Карта. СКОРД является ГИС-приложением, основанным на технологии API Google Map. На карте в цвете отображаются покิโลметровые данные об угрозе размыва в зависимости от прогноза погоды и характеристик ИССО, располагаемых на участках пути. В мелком масштабе отображается карта местности со схемой железной дороги и перечнем станций, но без искусственных сооружений (рис. 6).

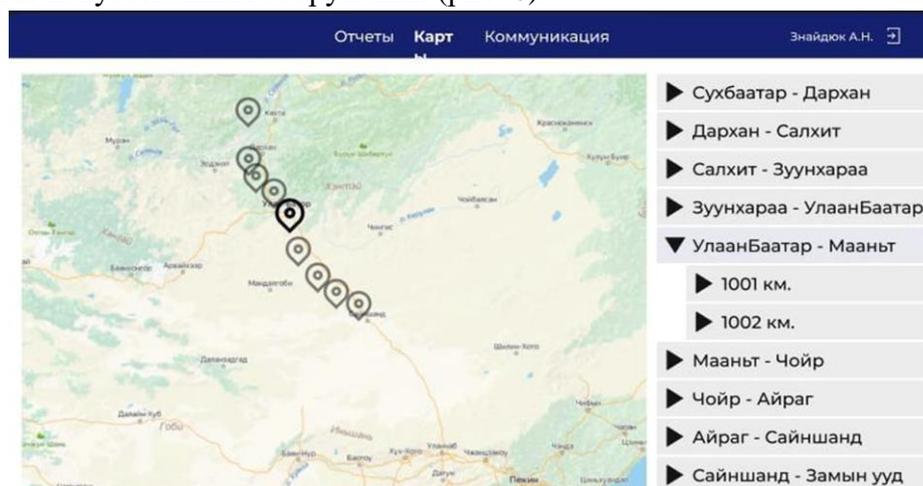


Рис. 6. Мелкомасштабная карта дороги с отображением станций

При максимальном приближении (укрупнении масштаба карты) отображаются также объекты инфраструктуры: мосты, трубы и т.д., как показано на рисунке 7.

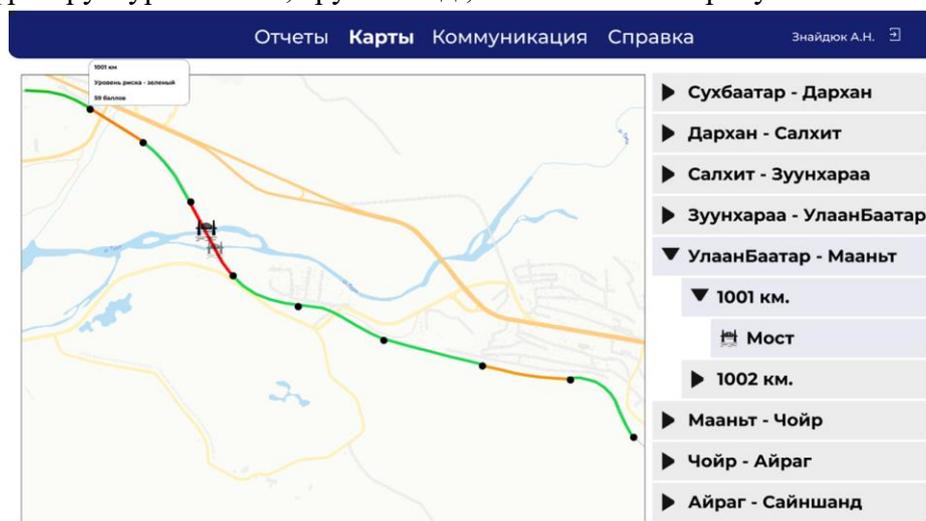


Рис. 7. Крупномасштабная карта с отображением ИССО

Для визуализации объектов ИССО предусмотрена возможность прикреплять несколько фото и один видеоматериал на участок карты, рисунок 8.

Личные кабинеты пользователя и системного администратора. Для работы в системе необходимо авторизоваться. После прохождения авторизации пользователь попадает на страницу личного кабинета. Личный кабинет – это раздел приложения, который видят только авторизованные пользователи. Вход, в него осуществляется с помощью логина и пароля. Здесь пользователь может посмотреть личную информацию о себе: «Фамилия», «Имя», «Должность», «Участок», «Станция», «Телефон», «Электронная почта» и отредактировать её.



Видеозапись объекта:



Рис. 8. Пример визуализация ИССО

Аналоги СППР СКОРД. Проведено исследование существующих аналогов системы. На данный момент для осуществления процесса прогнозирования рисков размыва на УБЖД не существует прямых аналогов, а только системы со схожими функциональными возможностями. В частности, рассмотрены такие системы, как: ГИС «Панорама» и «Система моделирования и прогнозирования ЧС».

ГИС «Панорама» – комплекс прогнозирования чрезвычайных ситуаций, предназначен для выполнения автоматизированного прогнозного моделирования и оценки потенциальных последствий чрезвычайных ситуаций. Комплекс выполняет построение и анализ математических моделей чрезвычайных ситуаций. С помощью данного комплекса возможно выполнение расчета параметров поражающих факторов и построение зоны возможного поражения в результате возникновения чрезвычайной ситуации. Зона поражения наносится на карту обстановки района чрезвычайной ситуации условными обозначениями, которые соответствуют требованиям МЧС. При расчете учитываются погодные условия, которые вводятся оператором в момент расчета [12].

Система моделирования и прогнозирования ЧС предназначена для заблаговременного и оперативного прогнозирования масштабов заражения на случай выбросов сильнодействующих ядовитых веществ в окружающую среду при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Система моделирования и прогнозирования ЧС позволяет осуществлять прогнозирование масштабов зон заражения при авариях на технологических емкостях и хранилищах, при транспортировке железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случае разрушения химически опасных объектов. Стоимость определяется индивидуально в зависимости от проектного решения.

Обе системы предназначены для других целей и не решают задач УБЖД.

Заключение. Представленная СППР СКОРД не имеет аналогов для решения подобных задач, основные функции реализованы. По её полному завершению она позволит руководству и службам УБЖД повысить оперативность принимаемых решений, уменьшая последствия размывов железнодорожных путей.

Список источников

1. Какие железнодорожные линии существуют в Монголии. – URL: [https://dzen.ru/a/X6A73G8ezBNvlq4-\(дата обращения 20.10.2024\)](https://dzen.ru/a/X6A73G8ezBNvlq4-(дата обращения 20.10.2024)).
2. Монголия (Монгол улс). – URL: <https://bigenc.ru/c/mongoliia-aed287> (дата обращения 20.10.2024).

3. Программа технической модернизации и развития АО «УБЖД» на период 2014 – 2020 годы / ОАО «ИЭРТ», ИПИИ «Иркутскжелдорпроект» – филиал ОАО «Росжелдорпроект», 2013. – 5 этап. – Том 2. – ПЗ. – Часть 1. – 263 с.
4. Бурэн-Итгэл Г. Повышение эффективности использования автономных локомотивов для грузоперевозок на железных дорогах Монголии [Текст] дис. ... канд. техн. наук: 2.4.2 / Гантумур Бурэн-Итгэл Московский энергет. институт М. – 2022. – 131 с.
5. Перфильева Е.В. Программа «Элегия» для принятия решения в условиях риска / Е.В. Перфильева, А.Д. Мелехова, О.В. Благоразумова, В.А. Подвербный // Фундаментальные и прикладные исследования в условиях геополитической нестабильности. Материалы XXIII Всероссийской научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2023. – С. 11-14.
6. Филатов Е.В. Программа РЕД_PROGNOZ для оперативного автоматизированного информирования об опасности размыва участков земляного полотна и искусственных сооружений Улан-Баторской железной дороги / Е.В. Филатов, П.Н. Холодов, В.А. Подвербный // Научно-исследовательские публикации, 2023. – № 3. – С. 90-94
7. Филатов Е.В. К вопросу анализа рисков размывов пути на Улан-Баторской железной дороге / Е.В. Филатов, Д.А. Ковенькин, В.А. Подвербный // Наукосфера, 2023. – № 8-1. – С. 113-122.
8. Филатов Е.В. Предложения по совершенствованию методики факторного анализа рисков размывов пути, разработанной специалистами Улан-Баторской железной дороги / Е.В. Филатов, Д.А. Ковенькин, В.А. Подвербный // Наукосфера, 2023. – № 8-1. – С. 123-130.
9. Мунгунхуяг Г., Кириллова Т.К. Проектирование мобильного приложения мониторинга технического состояния локомотива и ремонтных работ ТО-2 на Улан-Баторской железной дороге// Молодая наука Сибири. 2023. № 3 (21). С. 123-129
10. Балжир Мунхдэлгэр Организация и развитие грузовых перевозок на сети Монгольской железной дороги: диссертация кандидата технических наук. – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – 129 с
11. Обзор отрасли грузоперевозок в России 2020 год. / О. Архангельская, П. Галова, С. Трофимов, В. Махачев. Эрнст энд Янг – оценка и консультационные услуги. – 54 с.
12. Акционерное общество Конструкторское бюро “Панорама”. – URL: https://gisinfo.ru/price/price_linux.htm. (дата обращения: 31.03.2024)

Аршинский Леонид Вадимович. Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. AuthorID: 520252, SPIN: 9286-4084, ORCID: 0000-0001-5135-7921, larsh@mail.ru, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

Знайдюк Алексей Николаевич. Магистрант кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. AuthorID: 1233438, SPIN: 9296-4330, znaidyuk00@gmail.com, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

Кириллова Татьяна Климентьевна. К.э.н., доцент, заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. AuthorID: 526681, SPIN: 5252-5970, kirillova_tk@irgups.ru, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

Старцев Сергей Петрович. Главный инженер АО “УБЖД”, baikal1969@yandex.ru, Монголия, г. Улан-Батор-13, П/я-376, ул. Сеула-42.

Сэлэнгэ Мунхсайхан. Магистрант кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. AuthorID: 1233438, SPIN: 9296-4330, munkhsaikhan93@gmail.com, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

UDC 004.9

DOI:10.25729/ESI.2025.37.1.013

Geoinformation system for decision support on actions in case of threat of track erosion on the Ulaanbaatar railway

Leonid V. Arshinskiy¹, Aleksey N. Znaidyuk¹, Tatyana K. Kyrillova¹, Sergey P. Starcev², Selenge Mukhsaikhan^{1,2}

¹Irkutsk state transport university,
Russia, Irkutsk, *kirillova_tk@irgups.ru*

²Ulaanbaatar railway,
Mongolia, Ulaanbaatar

Abstract. The paper describes a decision support system (DSS) for actions in conditions of a threat of track erosion for the Ulaanbaatar Railway. Information about the road is briefly presented, and the geoclimatic conditions of its operation are described. A mathematical model is given for kilometer-by-kilometer calculation of the threat of track erosion depending on the meteorological forecast, track condition and the presence of artificial structures. The composition of the DSS, its functionality and general principles of operation are considered.

Keywords: geographic information system, decision support system, Ulaanbaatar Railway, track erosion, road washout hazard monitoring system

References

1. Kakiye zheleznodorozhnyye linii sushchestvuyut v Mongolii [What railway lines exist in Mongolia?]. Available at: <https://dzen.ru/a/X6A73G8ezBNvlq4-> (accessed: 10/20/2024)
2. Mongoliya (Mongol uls) [Mongolia (Mongol uls)]. Available at: <https://bigenc.ru/c/mongoliia-aed287> (accessed: 10/20/2024).
3. Programma tekhnicheskoy modernizatsii i razvitiya AO "UBZhD" na period 2014 – 2020 gody / OAO "IERT", IPII "Irkutskzheldorproekt" – filial OAO "Roszheldorproekt" [The program of technical modernization and development of JSC "UBZhD" for the period 2014-2020 / JSC "IERT", IPII "Irkutskzheldorproekt" - a branch of JSC "Roszheldorproekt"], 2013, 5 phase, vol. 2, PZ, ch. 1, 263 p.
4. Buren-Itgel G. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya avtonomnykh lokomotivov dlya gruzoperevozk na zheleznykh dorogah Mongolii [Tekst] dis. ... kand. tekhn. nauk: 2.4.2 [Improving the efficiency of using autonomous locomotives for freight transportation on Mongolian railways [Text] dis. ... Cand. of Engineering Sciences: 2.4.2]. Moskovskij energet. institut M. [Moscow Power Engineering Institute M.], 2022, 131 p.
5. Perfil'eva E.V., Melekhova A.D., Blagorazumova O.V., Podverbnyj V.A. Programma "Elegiya" dlya prinyatiya resheniya v usloviyah riska [The "Elegiya" program for decision-making under risk conditions]. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v usloviyah geopoliticheskoy nestabil'nosti. Materialy XXIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Rostov-na-Donu [Fundamental and applied research in conditions of geopolitical instability. Proceedings of the XXIII All-Russian scientific and practical conference], 2023, pp. 11-14.
6. Filatov Ye.V., Kholodov P.N., Podverbnyy V.A. Programma RED_PROGNOZ dlya operativnogo avtomatizirovannogo informirovaniya ob opasnosti razmyva uchastkov zemlyanogo polotna i iskusstvennykh sooruzheniy Ulan-Batorskoy zheleznoy dorogi [Program RED_PROGNOZ for prompt automated information about the danger of erosion of sections of the roadbed and artificial structures of the Ulaanbaatar railway]. Nauchno-issledovatel'skiye publikatsii [Research publications], 2023, no 3, pp. 90-94.
7. Filatov Ye.V., Koven'kin D.A., Podverbnyy V.A. K voprosu analiza riskov razmyvov puti na Ulan-Batorskoy zheleznoy doroge [On the issue of analyzing the risks of track erosion on the Ulaanbaatar railway]. Naukosfera [Naukosfera], 2023, no. 8-1. pp. 113-122.
8. Filatov Ye.V., Koven'kin D.A., Podverbnyy V.A. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu metodiki faktornogo analiza riskov razmyvov puti, razrabotannoy spetsialistami Ulan-Batorskoy zheleznoy dorogi [Proposals for improving the methodology for factor analysis of track erosion risks developed by specialists of the Ulaanbaatar Railway]. Naukosfera [Naukosfera], 2023, no. 8-1, pp. 123-130.
9. Mungunhuyag G., Kirillova T.K. Proektirovaniye mobil'nogo prilozheniya monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotiva i remontnykh rabot TO-2 na Ulan-Batorskoy zheleznoy doroge [Design of a mobile application for monitoring the technical condition of a locomotive and maintenance work TO-2 on the Ulaanbaatar Railway]. Molodaya nauka Sibiri [Young science of Siberia], 2023, no. 3 (21), pp. 123-129
10. Balzhir Munhdelger Organizatsiya i razvitie gruzovykh perevozk na seti Mongol'skoj zheleznoy dorogi: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Organization and development of freight transportation on the Mongolian railway network: dissertation of candidate of technical sciences]. M.: MGUPS (MIIT), 2015, 129 s
11. Arkhangel'skaya O., Galova P., Trofimov S., Makhachev V. Obzor otrasli gruzoperevozk v Rossii 2020 god [Overview of the cargo transportation industry in Russia 2020]. Ernst end Yang – otsenka i konsul'tatsionnyye uslugi [Ernst & Young – assessment and consulting services], 54 p.

12. Aktsionernoye obshchestvo Konstruktorskoye byuro "Panorama" [Joint-Stock company design bureau "Panorama"], available at: https://gisinfo.ru/price/price_linux.htm. (accessed: 03/31/2024).

Arshinskiy Leonid Vadimovich. Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department Information systems and information security of Irkutsk state transport university. AuthorID: 520252, SPIN: 9286-4084, ORCID: 0000-0001-5135-7921, larsh@mail.ru, Russia, Irkutsk, Chernyshevsky, 15.

Znaidyuk Aleksey Nikolaevich. Master's student of the department Information systems and information security of the Irkutsk state transport university. Author ID: 1233438, SPIN: 9296-4330, znaidyuk00@gmail.com, Russia, Irkutsk, Chernyshevsky, 15.

Kirillova Tatyana Klimentyevna. PhD, associate professor, chief of the department Information systems and information security of Irkutsk state transport university. AuthorID 526681, SPIN: 5252-5970, AuthorID: 526681, kirillova_tk@irgups.ru, Russia, Irkutsk, Chernyshevsky, 15.

Startsev Sergey Petrovich. Chief engineer of JSC UBZhD, baikal1969@yandex.ru, Mongolia, Ulaanbaatar-13, N/A-376, Seoul street-42.

Selenge Munkhsaikhan. Master's student of the department Information systems and information security of Irkutsk state transport university. AuthorID: 1233438, SPIN: 9296-4330, munkhsaikhan93@gmail.com, Russia, Irkutsk, Chernyshevsky, 15.

Статья поступила в редакцию 01.11.2024; одобрена после рецензирования 03.02.2025; принята к публикации 13.02.2025.

The article was submitted 11/01/2024; approved after reviewing 02/03/2025; accepted for publication 02/13/2025.