

УДК 614.8.084

DOI 10.52928/2070-1616-2026-55-3-139-143

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

канд. техн. наук, доц. Ю.А. БУЛАВКА¹, В.С. ЖИЗНЕВСКАЯ
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

¹ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5025-7419>

Интеграция цифровых технологий в сферу управления охраной труда открывает новые возможности для снижения уровня профессиональных рисков и разработки обоснованных профилактических мероприятий. Изучены потенциальные возможности государственного ресурса – Геопортала земельно-информационной системы – как полнофункциональной геоинформационной среды, обладающей единой координатной базой, картографическими подложками и аналитическими инструментами. В рамках данного исследования предложено внедрение модуля «Производственная безопасность» в функционал Геопортала земельно-информационной системы путем создания тематического слоя, нанесения источников опасности, использования буферизации и тепловых карт. Предлагаемый модуль позволит визуализировать распределение опасных зон для обоснованного планирования мероприятий по снижению профессиональных рисков несчастных случаев и профессиональных заболеваний, строить безопасные маршруты перемещения персонала и проведения экскурсий по территории предприятия.

Ключевые слова: охрана труда, производственная безопасность, геоинформационная система, ГИС-технология, Геопортал земельно-информационной системы.

Введение. Глубокая интеграция цифровых технологий во все сферы жизнедеятельности человека требует переосмысления концептуальных направлений обеспечения безопасности современных промышленных производств, характеризующихся непрерывным усложнением технологических процессов, высокими скоростями, ростом единичных мощностей оборудования и, как следствие, возрастанием потенциальных рисков для жизни и здоровья работников [1]. Цифровая трансформация, которая является одной из приоритетных целей развития современного общества, закономерно затронула и сферу управления охраной труда, позволяя перейти от реактивных методов управления к проактивным, основанным на предиктивной аналитике и данных, отображаемых в реальном времени [2–6]. Современные информационные системы предоставляют мощный инструментарий для повышения эффективности управления охраной труда, функциональные возможности которых позволяют автоматизировать процессы разработки локальных-нормативно-правовых актов организации (положений, стандартов, инструкций, журналов, приказов и т.п.), процессы контроля (сроки обучения и инструктажей, карточки выдачи средств индивидуальной защиты (СИЗ), медосмотры, планы мероприятий, предписаний, результатов аттестации рабочих мест по условиям труда, карт оценки рисков и т.п.), регулярных операций (наряд-допуски, отчетность и т.п.); повышать эффективность процесса обучения и тренировки персонала, работающего на опасных производствах, с использованием технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, геймификации, Smart-тренажеров, цифровых симуляторов и двойников оборудования; организовать непрерывный мониторинг условий труда позволяющий прогнозировать профессиональные риски в реальном времени при помощи систем искусственного интеллекта и видеоаналитики, умных СИЗ и носимых устройств («умная» каска, модули, вшиваемые в спецодежду (жилет, куртку, перчатки, обувь), браслеты, ремни, предохранительные пояса и т.п.) [2–6].

Разрабатываемые продукты различаются по своему назначению и функционалу. Особую роль в цифровизации охраны труда могут сыграть геоинформационные системы (ГИС) [7]. Республика Беларусь обладает уникальным государственным ресурсом в этой сфере – Геопорталом земельно-информационной системы (ЗИС) (владелец – УП «Проектный институт Белгипрозем»), который представляет собой полнофункциональную геоинформационную среду с единой координатной базой, картографическими подложками и инструментарием для сбора, хранения, обработки, пространственного анализа и визуализации пространственных данных (геоданных) и связанной с ними атрибутивной информации. Вместе с тем потенциал этого ресурса для решения задач охраны труда до настоящего времени не используется: отсутствуют методики интеграции данных об условиях труда в Геопортал, не разработаны тематические слои производственной безопасности, не созданы алгоритмы пространственного анализа профессиональных рисков на его основе, что и определило *цель настоящего исследования*, которая заключается в обосновании и разработке ГИС-модели для анализа условий труда на производственных объектах с возможностью ее последующей интеграции в Геопортал ЗИС Республики Беларусь.

Методы исследований. Предложена интеграция элементов обеспечения охраны труда в функционал Геопортала ЗИС. Особенность геоинформационной системы заключается в том, что помимо чисто географических координат, она оперирует документальной, статистической, нормативно-справочной информацией, что позволяет формировать на ее основе аналитические отчеты и прогнозы, выявлять пространственные закономерности распределения производственных факторов, визуализировать эти данные, осуществлять моделирова-

ние сценариев и прогнозирование последствий аварийных ситуаций; планировать пути эвакуации; анализировать динамику уровня профессионального риска при установке нового оборудования или изменении технологического процесса; оценить эффективность планируемых защитных мероприятий и т.п.

Результаты и их обсуждение. Предлагаемое решение базируется на создании в составе Геопортала ЗИС тематического слоя «Производственная безопасность». Предлагаемый модуль может стать интерактивной картографической средой, объединяющей кадастровую информацию о территории предприятия с актуальными данными о фактических производственных факторах. Данный модуль может обеспечивать визуализацию источников опасности и безопасных зон в едином координатном пространстве, используя стандартные картографические подложки Геопортала (ортофотопланы, кадастровые планы, схемы инженерных коммуникаций), позволяя создавать динамическую цифровую модель предприятия. На карту-схему предприятия могут быть нанесены различные типы источников опасности, а именно: физические факторы (места расположения источников повышенного шума, вибрации (станки, вентиляционные установки, насосы, компрессоры), электромагнитных полей, источников ионизирующего излучения и т.п.); химические факторы: участки работы с вредными веществами, отбора проб, склады химических реагентов, сливно-наливные эстакады, резервуарные парки и другие места возможных выбросов, зоны рассеивания вредных примесей в атмосфере и т.п.; факторы травматизации: зоны погрузочно-разгрузочных работ, работы грузоподъемных механизмов, движущиеся части оборудования и т.п. Для каждого объекта в атрибутивной базе модуля могут храниться нормативные значения предельно допустимых концентраций (ПДК), предельно-допустимого выброса (ПДВ) вредных веществ и предельно-допустимых уровней воздействия (ПДУ) физических факторов, фактические результаты замеров (с привязкой по дате), а также информация о средствах защиты, а также зонах с наиболее высоким риском травмирования, полученным по результатам анализа статистической информации о происшествиях.

Ключевой аналитической функцией модуля «Производственная безопасность» является возможность построения «зеленых зон» (безопасных пространств) на основе пространственного (топографического) анализа: маршрутов перемещения путем построения оптимальных и безопасных путей прохода от входной группы до рабочего места, автоматически исключающих зоны с превышением ПДУ и ПДК или опасные зоны работы механизмов; зон отдыха (нанесение на карту мест, где уровни вредных и опасных производственных факторов находятся в допустимых пределах (санитарно-бытовые помещения, операторные, укрытия)); динамической фильтрации: возможности для пользователя включить отображение только безопасных участков для решения конкретной задачи (например, прокладки маршрута для транспортировки груза или проведения экскурсий по территории предприятия).

Для более эффективного использования собранных данных модуль может включать блок аналитических инструментов, характерных для современных геоинформационных систем: построение «тепловых карт» (автоматическая генерация карт плотности распределения опасных факторов по территории цеха, что позволит наглядно выявлять участки с накоплением рисков (например, совпадение зон повышенного шума и интенсивного перемещения людей); буферизация (зонирование) (автоматическое построение санитарно-защитных зон вокруг источника опасности с сигнализацией попадания в эту зону постоянного рабочего места; автоматическая генерация актуальных схем эвакуации с учетом временных препятствий (ремонтные работы, загроможденные проходы) и динамических рисков (утечки аварийно-химически опасных веществ, токсичных соединений). Указанные схемы могут добавляться в виде векторного слоя поверх основной карты.

Предлагается двухуровневая система актуализации и наполнения данных модуля «Производственная безопасность»: статический слой (базовый): данные, вносимые по результатам анализа источников опасности от оборудования и технологического процесса; проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, оценки рисков, анализа статистических данных о происшествиях, зоны рассеивания вредных веществ с указанием нормативных значений ПДК/ПДУ; динамический слой (оперативный): данные, вносимые по результатам инструментальных замеров (в результате производственного (локального) мониторинга и т.п.). Интеграция с портативными измерителями (дозиметры, газоанализаторы, датчиками взрывных концентраций, видеоаналитики и т.п.) позволит загружать показания в модуль с привязкой к геометрии места замера.

Для отображения возможностей предлагаемого модуля в качестве объекта моделирования выбран машиностроительный комплекс, представляющий собой территорию площадью около 30 га, на которой расположено 22 здания и сооружения различного функционального назначения, территориально привязанный к системе координат, совместимой с Геопорталом ЗИС. Комплекс включает типичные функциональные зоны среднего машиностроительного предприятия: производственные цеха, энергетический блок, складское хозяйство, административно-бытовые корпуса и транспортную сеть. Конфигурация комплекса и данные об уровне производственного шума являются модельными, максимально приближенными к реальным характеристикам аналогичных объектов. Типы зданий и сооружений с указанием их функционального назначения и акустических характеристик приведены в таблице 1.

Для объектов административно-бытового назначения фоновый уровень шума принят в диапазоне 45–60 дБА, что соответствует допустимым значениям для административно-управленческой деятельности. ПДУ шума для производственных помещений составляет 80 дБА по эквивалентному уровню за смену и 90 дБА по максимальному уровню звука.

Таблица 1. – Модельные источники шума и их акустические характеристики

Обозначение	Наименование объекта	L, дБА	Характер шума
Цех 1	Листопрокатный цех	105	Постоянный широкополосный с импульсными пиками
Цех 2	Компрессорная станция сжатого воздуха	100	Постоянный широкополосный с тональными составляющими
Цех 3	Энергоцентр	95	Непостоянный при работе дизель-генераторов
Цех 4	Установка получения водорода	92	Постоянный с тональными компонентами
Цех 5	Цех водоподготовки	88	Постоянный низкочастотный
Цех 6	Центральная мастерская	90	Широкополосный с высокочастотным пиком
Всп. 1	Трансформаторная подстанция 110/10 кВ	82	Узкополосный низкочастотный (100 Гц)
Всп. 2	Очистные сооружения	75	Постоянный широкополосный
Всп. 3	Гараж	78	Непостоянный колеблющиеся

Процесс моделирования пространственного распределения шума реализован в среде ArcGIS и включает четыре последовательных этапа:

1. Подготовка векторных слоев. Полигональный слой зданий пополняется атрибутами, характеризующими эквивалентный уровень звука у наружных ограждающих конструкций. Точечный слой источников шума формируется путем размещения точек в геометрических центрах наиболее шумных фасадов соответствующих зданий. Каждой точке присваивается значение уровня звуковой мощности, которое определяется из эквивалентного уровня на расстоянии 1 м.

2. Расчет на регулярной сетке. На территорию комплекса накладывается регулярная сетка точек с шагом 35 м. Для каждого узла сетки проверяется принадлежность внешнему контуру территории. Для точек, попавших внутрь полигона, выполняются расчет расстояний до всех источников шума и вычисление результирующего уровня звука методом энергетического суммирования с учетом логарифмического затухания и атмосферного поглощения. Расчет реализуется через калькулятор программного обеспечения Surfer. Результатом является точечный слой, приведенный на рисунке 1, содержащий координаты и расчетный уровень шума в дБА.

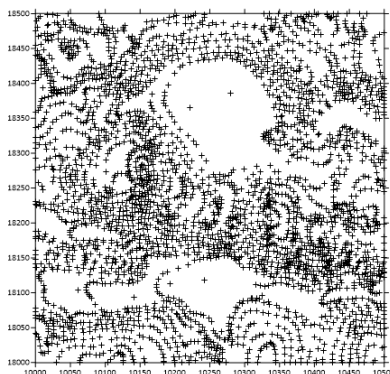


Рисунок 1. – Точечный слой в ПО Surfer

3. Построение непрерывной поверхности шума методом интерполяции обратно взвешенных расстояний (IDW) с радиусом поиска 70 м и показателем степени 2. Полученный растр классифицируется по четырем зонам опасности в соответствии с критериями, приведенными в таблице 2.

Таблица 2. – Классификация зон шумовой опасности

Зона	Уровень шума, дБА	Класс условий труда	Режим пребывания
Зеленая	< 70	1, 2	Постоянное пребывание без ограничений
Желтая	70–85	3.1	Контроль времени пребывания
Оранжевая	85–95	3.2	Обязательное применение СИЗ слуха
Красная	> 95	3.3, 3.4, 4	Кратковременное пребывание, комбинированные СИЗ

4. Верификация модели, картографическое оформление и визуализация полученных данных. К растру применяется цветовая схема, приведенная на рисунке 2 (зеленый → желтый → оранжевый → красный). На итоговую карту накладываются контуры зданий, подписи объектов и легенда.

Пространственное распределение зон шумовой опасности демонстрирует выраженную закономерность: производственное ядро формирует компактную область высоких уровней шума, тогда как восточная периферия и административный сектор характеризуются уровнями, соответствующими зеленой зоне. Количественное распределение точек выборки по зонам представлено в таблице 3.

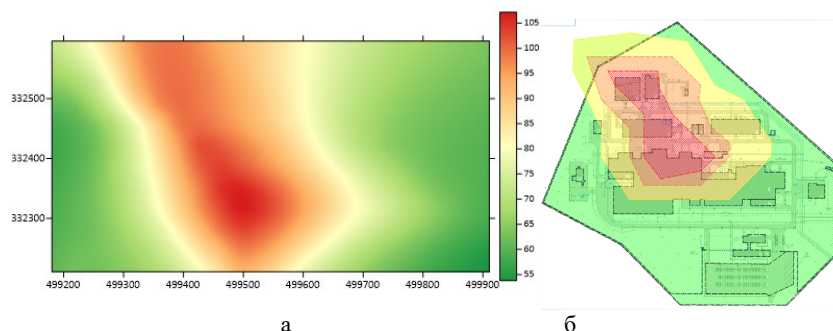


Рисунок 2. – Цветовая схема шумовой опасности (а) и итоговая карта (б) предприятия

Таблица 3. – Распределение точек по зонам шумовой опасности

Зона	Доля точек, %	Преобладающие объекты
Зеленая (< 70 дБА)	47	АБК, административные здания, КПП, восточный периметр
Желтая (70–85 дБА)	18	Подъездные пути, складская зона, границы цехов
Оранжевая (85–95 дБА)	19	Компрессорная, энергоцентр, цех водоподготовки
Красная (> 95 дБА)	16	Листопрокатный цех, участок прокатного стана

Максимальный расчетный уровень (107 дБА) зафиксирован у южного фасада листопркатного цеха, что соответствует опасному уровню. Административно-бытовые корпуса находятся в зеленой зоне (50–62 дБА), и это подтверждает правильность архитектурно-планировочного решения. На северо-западном участке периметра уровень шума (60–65 дБА) превышает ПДУ для территорий, прилегающих к жилой застройке в ночное время (45 дБА), что необходимо учитывать при обосновании санитарно-защитной зоны и режима работы предприятия.

Для интеграции модели в информационную систему управления охраной труда определена структура атрибутивных данных, отображаемых при выборе зоны на карте. Состав атрибутов обеспечивает принятие управленческих решений непосредственно из интерфейса ГИС, что соответствует современным подходам к цифровизации охраны труда. В таблице 4 представлен перечень предлагаемых атрибутивных полей и примеры их значений.

Таблица 4. – Предлагаемое атрибутивное наполнение зон шумовой опасности

Атрибут	Зеленая	Желтая	Оранжевая	Красная
Наименование зоны	Безопасная	Умеренно опасная	Опасная	Чрезвычайно опасная
Код зоны	GREEN	YELLOW	ORANGE	RED
Уровень шума, дБА	50–69	70–84	85–94	95–107
ПДУ, дБА	60	80	80	80
Класс условий труда	1, 2	3.1	3.2	3.3, 3.4, 4
Режим пребывания	Без ограничений	Контроль времени	2–4 ч	До 15 мин
СИЗ слуха обязательны	Нет	Нет (< 80 дБА)	Да	Да
Периодичность замеров	1 раз в 2 года	1 раз в год	1 раз в 6 месяцев	1 раз в 3 месяца

Предложенная структура может быть реализована в среде Геопортала ЗИС через механизм связанных таблиц. Для внедрения на предприятии значения атрибутов необходимо заполнять путем запроса к базе данных инструментальных замеров, обеспечивая актуализацию информации по примеру, приведенному на рисунке 3.

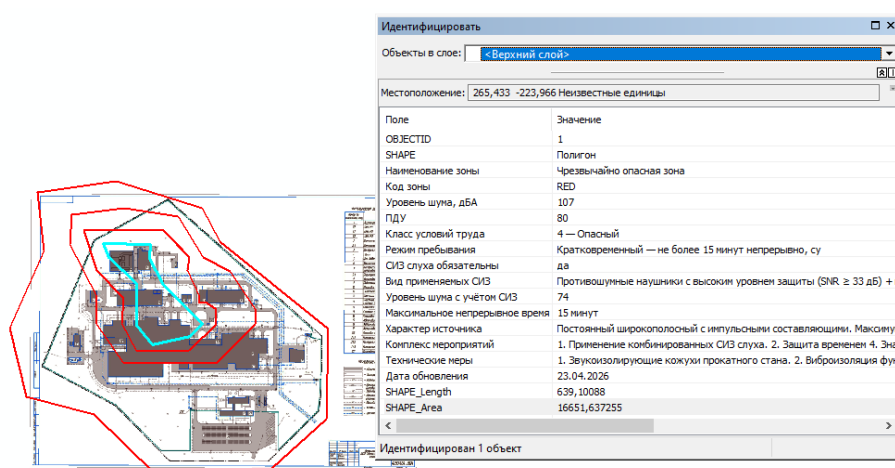


Рисунок 3. – Пример отображения атрибутивной таблицы

Предлагаемая модель инвариантна к типу производственного фактора. Замена фактора на другой пространственно-распределенный параметр не требует изменения структуры модели – достаточно добавить новый слой источников и нормативные значения ПДК/ПДУ. Комплексная оценка условий труда может быть реализована путем наложения нескольких карт с весовыми коэффициентами. Дальнейшее развитие системы может быть связано с интеграцией данных от датчиков для перехода динамической модели.

Заключение. Цифровизация управления охраной труда открывает новые возможности для снижения уровня профессиональных рисков и разработки обоснованных профилактических мероприятий. При этом применение геоинформационных систем позволит перейти к пространственному (топографическому) анализу параметров среды и их распределения по территории предприятия. ГИС-технологии могут выступать как полноценная аналитическая платформа, которая интегрирует разрозненные данные об условиях труда, источниках опасности для жизни и здоровья работников в единую пространственную среду, позволяя выявлять скрытые закономерности, прогнозировать развитие ситуации и принимать обоснованные решения для предотвращения несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голенских С.А. Принцип охраны труда в системе отраслевых принципов трудового права // Трудовое право в России и за рубежом. – 2025. – № 1. – С. 38–40. DOI: 10.18572/2221-3295-2025-1-38-40
2. Федорова Н.В. Цифровизация в охране труда // Вестник ангарского государственного технического университета. – 2024. – № 1(18). – С. 330–332. DOI: 10.36629/2686-777X-2024-1-18-330-332
3. Яронова Н.В. Интеграция технологий интернета вещей (Iot) в систему охраны труда на железнодорожном транспорте // Свет науки. – 2025. – № 11(46). – URL: <https://inlibrary.uz/index.php/science-shine/article/view/103704> (дата обращения: 23.08.2026).
4. Тимофеева С.С. Цифровизация и искусственный интеллект в охране труда // XXI век. Техносферная безопасность. – 2024. – № 9(3). – С. 280–295. DOI: 10.21285/2500-1582-2024-9-3-280-295
5. Булавка Ю.А., Самусевич В.Н. Использование цифровых инструментов интегрированных решений в области охраны труда // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2019. – № 11. – С. 72–81.
6. Сунцов А.В., Булавка Ю.А. Применение цифровых технологий в обеспечении безопасности жизнедеятельности // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XIX междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых / Минск (16–17 апр. 2025 г.). – Минск: УГЗ, 2025. – С. 107–108.
7. Жизневская В.С., Булавка Ю.А. Применение ГИС-технологий для анализа условий труда // Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций: сб. материалов XII междунар. заоч. науч.-практ. конф. / Минск (29 мая 2026 г.). – Минск: УГЗ, 2026 – С. 264–268.

Поступила 23.08.2026

USING GIS-TECHNOLOGIES TO ANALYZE WORKING CONDITIONS AND SAFETY IN THE WORKING ENVIRONMENT

Y. BULAUKA, V. ZHIZNEVSKAYA
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

The integration of digital technologies into occupational safety management opens up new opportunities for reducing occupational risks and developing sound preventative measures. The potential of the state resource – the Geoportal of the Land Information System – was explored as a fully functional geographic information environment with a unified coordinate base, map basemaps, and analytical tools. This study proposed integrating the "Industrial Safety" module into the Geoportal of the Land Information System by creating a thematic layer, mapping hazard sources, and using buffering and heat maps. The proposed module will visualize the distribution of hazardous zones for informed planning of measures to reduce the risk of occupational accidents and diseases, construct safe routes for personnel, and conduct tours of the enterprise.

Keywords: labor protection, industrial safety, geographic information system, GIS technology, geoportal of the land information system.