

УДК 625.11:004.9

П. Д. ЧЕКАНОВ, Р. П. БЕРНЕЙ (СИ-41), З. М. КРАВЦОВ (ЗСс-61)

Научный руководитель – ст. преп. *В. В. РОМАНЕНКО*

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КЛИЕНТСКОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ КРИВЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Рассмотрено клиентское веб-приложение для паспортизации кривых, разработанное на основе Serverless Client-side. Приложение автоматизирует оценку фактических параметров кривых, выявление расстроенных участков, расчёт скоростей и непогашенного ускорения. Архитектура на Vite, визуализация через Canvas 2D API, генерация .docx-отчётов и цветовая индикация статусов обеспечивают оперативную подготовку документации и обоснование ремонтных работ.

С 6 ноября 2020 года на Белорусской железной дороге внедрена методика оценки фактических параметров кривых участков пути, предназначенная для их паспортизации [1]. Данный подход направлен на решение комплекса задач по контролю и оптимизации состояния пути [2]. Методика обеспечивает обнаружение участков, не соответствующих установленным скоростям движения поездов [3]. Важной функцией является диагностика «расстроенных» кривых и формирование их ранжированного списка по степени расстройства. Кроме того, система выявляет расхождения между фактическим и проектным положением кривых.

Паспортизации подлежат только кривые, расположенные на главных путях дороги, основным требованием которой является строгое соблюдение действующих нормативов для заданных скоростей движения [3]. При этом параметры устройства кривой должны обеспечивать рациональные величины непогашенного ускорения, скорости его изменения и крутизны отвода возвышения при фактических скоростях поездов [3, 4].

Программное обеспечение (ПО) разработано для автоматизации расчётов, выполняемых при оценке технического состояния железнодорожных кривых в плане и поиска оптимальных параметров при паспортизации. Программа реализована в виде веб-приложения и функционирует в среде современного интернет-браузера без установки дополнительного программного обеспечения [5]. Тип: клиентское веб-приложение с локальной вычислительной логикой и генерацией документов.

Программа применяется в следующих производственных ситуациях:

– при паспортизации железнодорожных кривых в плане;

- оценке допускаемой скорости движения поездов по кривой с учётом её фактического геометрического состояния;
- анализе расстроенности кривой и определении степени её отклонения от проектного положения;
- подготовке технической документации по результатам обследования кривой;
- обосновании необходимости назначения ремонтных работ на кривой.

Приступая к разработке ПО, необходимо определиться с выбором программных средств. Так как в настоящее время методы визуального программирования являются весьма популярными и востребованными, их применение позволяет в значительной степени сократить число ошибок, допускаемых человеком при разработке программ и повысить надежность программирования.

Проект реализован как одностраничное веб-приложение, функционирующее исключительно на стороне клиента. Архитектура базируется на принципе Serverless Client-side, что исключает необходимость в серверной обработке и внешнем API.

Таким образом, приложению не потребуется постоянного интернет-соединения после первичной загрузки. Для управления модулями и подготовки проекта к развертыванию используется современный инструмент сборки Vite. Использование стандартных механизмов Vite позволяет избежать избыточной конфигурации, используя index.html как точку входа. Для формирования отчетности используется библиотека dosx. Она позволяет генерировать файлы формата .dosx программно на стороне клиента, используя объектную модель документа. Визуализация графиков зависимости $a(h)$ реализована через нативный Canvas 2D API. Для сохранения конфигурации пользовательских блоков используется Web Storage API (localStorage). Данные сохраняются в формате JSON, что обеспечивает восстановление интерфейса при перезагрузке страницы.

При разработке любого программного обеспечения, предназначенного для применения в инженерной практике, ключевым этапом является формирование полного и непротиворечивого перечня требований.

Требования служат основой для проектирования архитектуры системы, определяют границы её функциональности и задают критерии качества, по которым впоследствии оценивается результат разработки.

Отсутствие чётко сформулированных требований неизбежно приводит к появлению ошибок проектирования, которые крайне сложно и дорогостояще устранять на поздних стадиях.

В данном проекте требования были выработаны исходя из анализа предметной области – паспортизации и анализа характеристик железнодорожных кривых. Программный продукт должен не просто автоматизировать отдельные вычисления, но и обеспечить сквозной процесс: от ввода исход-

ных данных до формирования готового документа, пригодного для включения в техническую документацию.

С точки зрения совместимости программа должна корректно функционировать во всех актуальных версиях основных браузеров: Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge без необходимости установки дополнительных плагинов, расширений или программного обеспечения.

Работа системы не должна зависеть от наличия серверной инфраструктуры – все вычисления должны выполняться целиком на стороне клиента, что обеспечивает возможность использования программы в условиях ограниченного или отсутствующего доступа к сети Интернет.

Требования к производительности предполагают, что результаты расчёта должны отображаться без видимых задержек (рисунки 1 и 2). Учитывая, что все вычисления выполняются в памяти браузера и не требуют обращения к внешним ресурсам, время отклика системы не должно превышать долей секунды даже на слабых вычислительных устройствах.

Надёжность системы обеспечивается прежде всего качественной валидацией входных данных. Программа должна проверять наличие всех обязательных полей, корректность числовых значений (отсутствие отрицательных радиусов, корректность порядка «начало – конец» для координат), а также логическую согласованность пар данных: например, координаты круговой кривой должны находиться внутри диапазона общей переходной кривой. При обнаружении ошибок программа должна выдавать конкретное и понятное сообщение, указывая на проблемное поле.

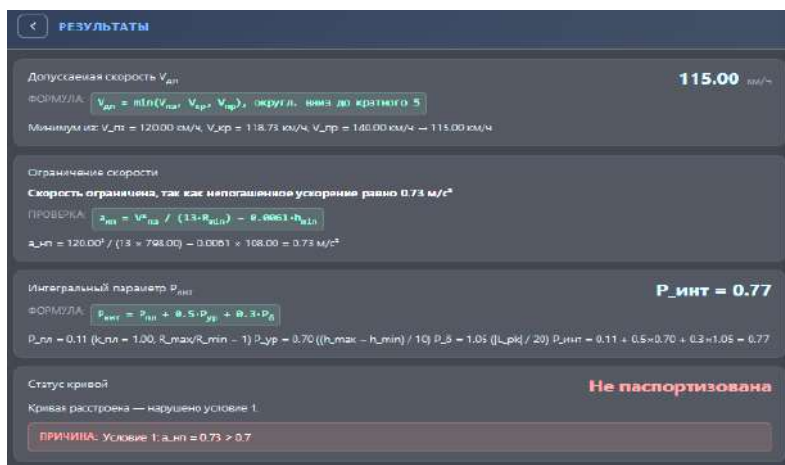


Рисунок 1 – Блок результатов (расстроенность и статус кривой)

УСЛОВИЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ				
#	УСЛОВИЕ ПАСПОРТИЗАЦИИ	ДОП. ЗНАЧЕНИЕ	ФАКТ. ЗНАЧЕНИЕ	СТАТУС
1	Непогашенное ускорение $a_{\text{нпг}}$	0.7 м/с²	0.73 м/с²	НЕ ВЫПОЛНЕНО
2	Скорость изм. непогашенного ускорения	0.6 м/с²	0.23 м/с²	ВЫПОЛНЕНО
3	Отвод возвышения (макс.) для $V_{\text{нпг}}$	1.00 мм/м	0.86 мм/м	ВЫПОЛНЕНО
4	Отклонение $R_{\text{фп}}$ от $R_{\text{нпг}}$	10%	3.03%	ВЫПОЛНЕНО
5	Разброс уровня $h_{\text{макс}} - h_{\text{мин}}$	15 мм	7.00 мм	ВЫПОЛНЕНО
6	Смещение план. уровня $ L_{\text{пк}} $	20 м	21.00 м	НЕ ВЫПОЛНЕНО
7	Макс. несовпадение в точках (КТПК2)	20 м	30.00 м	НЕ ВЫПОЛНЕНО
ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ПАСПОРТИЗАЦИИ				
✗ Кривая расстроена условия 1–6: не выполнено условие 1				
✗ Кривая не паспортизована кривая расстроена — не выполнено условие 1				

Рисунок 2 – Блок результатов (заключение о паспортизации)

Оценка состояния фактической кривой согласно методике произведена по ряду условий паспортизации, на основании рассчитанных величин, которые сравнивались с допускаемыми значениями, определен статус каждого условия. Для быстрой ориентации пользователя в сформированном отчете в колонке «Статус» реализована функция цветовой индикации. Зеленый цвет – положительный итог, красный – отрицательный (рисунок 3).

№	Условие паспортизации	Допускаемое значение	Фактическое значение	Статус
1	Непогашенное ускорение $a_{\text{нпг}}$	0.7 м/с²	1.65 м/с²	Не выполнено
2	Скорость изм. непогашенного ускорения	0.6 м/с²	1.05 м/с²	Не выполнено
3	Отвод возвышения (макс.) для $V_{\text{нпг}}$	1.40 мм/м	2.10 мм/м	Не выполнено
4	Отклонение $R_{\text{фп}}$ от $R_{\text{нпг}}$	10%	4.99%	Выполнено
5	Разброс уровня $h_{\text{макс}} - h_{\text{мин}}$	15 мм	3.00 мм	Выполнено
6	Смещение план-уровень $ L_{\text{пк}} $	20 м	12.00 м	Выполнено
7	Макс. несовпадение в точках (КТПК2)	20 м	16.00 м	Выполнено

Рисунок 3 – Блок результатов (заключение о паспортизации)

Результаты функции расчёта непогашенного ускорения, сгруппированные по скоростным режимам. Таблица строится по группам расчётных скоростей (до 4 групп). Каждая группа занимает три столбца: h (возвышение, мм), A (непогашенное ускорение, м/с²), $L_{\text{пк}}$ (требуемая длина переходной кривой, м) (рисунок 4).

Rcp = 1282.00 м Vпз = 120			R1 = 1200.00 м Vпз = 120			R2 = 1250.00 м Vпз = 120			R3 = 1300.00 м Vпз = 120		
км/ч			км/ч			км/ч			км/ч		
h, мм	a, м/с²	Lпк, м	h, мм	a, м/с²	Lпк, м	h, мм	a, м/с²	Lпк, м	h, мм	a, м/с²	Lпк, м
0	0.864	20	0	0.923	20	0	0.886	20	0	0.852	20
5	0.834	20	5	0.893	20	5	0.856	20	5	0.822	20
10	0.803	20	10	0.862	20	10	0.825	20	10	0.791	20
15	0.773	20	15	0.832	20	15	0.795	20	15	0.761	20
20	0.742	30	20	0.801	30	20	0.764	30	20	0.73	30
25	0.712	40	25	0.771	40	25	0.734	40	25	0.7	40
30	0.681	40	30	0.74	40	30	0.703	40	30	0.669	40
35	0.651	50	35	0.71	50	35	0.673	50	35	0.639	50
40	0.62	50	40	0.679	50	40	0.642	50	40	0.608	50
45	0.59	60	45	0.649	60	45	0.612	60	45	0.578	60
50	0.559	70	50	0.618	70	50	0.581	70	50	0.547	70
55	0.529	70	55	0.588	70	55	0.551	70	55	0.517	70
60	0.498	80	60	0.557	80	60	0.52	80	60	0.486	80
65	0.468	90	65	0.527	90	65	0.49	90	65	0.456	90
70	0.437	90	70	0.496	90	70	0.459	90	70	0.425	90
75	0.407	2Lmc>Lk.np	75	0.466	2Lmc>Lk.np	75	0.429	2Lmc>Lk.np	75	0.395	2Lmc>Lk.np
80	0.376	2Lmc>Lk.np	80	0.435	2Lmc>Lk.np	80	0.398	2Lmc>Lk.np	80	0.364	2Lmc>Lk.np
85	0.346	2Lmc>Lk.np	85	0.405	2Lmc>Lk.np	85	0.368	2Lmc>Lk.np	85	0.334	2Lmc>Lk.np
90	0.315	2Lmc>Lk.np	90	0.374	2Lmc>Lk.np	90	0.337	2Lmc>Lk.np	90	0.303	2Lmc>Lk.np
95	0.285	2Lmc>Lk.np	95	0.344	2Lmc>Lk.np	95	0.307	2Lmc>Lk.np	95	0.273	2Lmc>Lk.np
100	0.254	2Lmc>Lk.np	100	0.313	2Lmc>Lk.np	100	0.276	2Lmc>Lk.np	100	0.242	2Lmc>Lk.np
105	0.224	2Lmc>Lk.np	105	0.283	2Lmc>Lk.np	105	0.246	2Lmc>Lk.np	105	0.212	2Lmc>Lk.np
110	0.193	2Lmc>Lk.np	110	0.252	2Lmc>Lk.np	110	0.215	2Lmc>Lk.np	110	0.181	2Lmc>Lk.np
115	0.163	2Lmc>Lk.np	115	0.222	2Lmc>Lk.np	115	0.185	2Lmc>Lk.np	115	0.151	2Lmc>Lk.np
120	0.132	2Lmc>Lk.np	120	0.191	2Lmc>Lk.np	120	0.154	2Lmc>Lk.np	120	0.12	2Lmc>Lk.np
125	0.102	2Lmc>Lk.np	125	0.161	2Lmc>Lk.np	125	0.124	2Lmc>Lk.np	125	0.09	2Lmc>Lk.np
130	0.071	2Lmc>Lk.np	130	0.13	2Lmc>Lk.np	130	0.093	2Lmc>Lk.np	130	0.059	2Lmc>Lk.np
135	0.041	2Lmc>Lk.np	135	0.1	2Lmc>Lk.np	135	0.063	2Lmc>Lk.np	135	0.029	2Lmc>Lk.np
140	0.01	2Lmc>Lk.np	140	0.069	2Lmc>Lk.np	140	0.032	2Lmc>Lk.np	140	-0.002	2Lmc>Lk.np
145	-0.02	2Lmc>Lk.np	145	0.039	2Lmc>Lk.np	145	0.002	2Lmc>Lk.np	145	-0.032	2Lmc>Lk.np
150	-0.051	2Lmc>Lk.np	150	0.008	2Lmc>Lk.np	150	-0.029	2Lmc>Lk.np	150	-0.063	2Lmc>Lk.np

Рисунок 4 – Результаты реализации функции расчета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации : официальное издание : утв. приказом от 02.11.2020 № 838 НЗ. – Введ. 06.11.2020. – Минск, 2020. – 10 с.

2 **Косенко, С. А.** Диагностика и мониторинг железнодорожного пути : учеб. пособие / С. А. Косенко, А. А. Севостьянов, М. А. Карюкин. – М. : ФГБУ ДПО «УМЦ по образ. на ж.-д. транспорте», 2024. – 144 с.

3 СТП БЧ 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 283 с.

4 Железнодорожный путь : учеб. / под ред. Е. С. Ашпиз. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : ФГБУ ДПО «УМЦ по образ. на ж.-д. транспорте», 2021. – 575 с.

5 **Сапрыкин, А. Н.** Основы веб-программирования : HTML 5, CSS 3, JavaScript : учеб. пособие для вузов / А. Н. Сапрыкин. – М. : Texbooks, 2020. – 288 с.

Получено 30.07.2026