

### ЗАЯВА

Я, Драган Назар Володимирович  
(ПІБ повністю)

Студент групи 8-Інтер

Спеціальності 273 Залізничний транспорт  
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті  
(назва освітньої програми)

Освітнього ступеня підготовки магістр

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Розробка рекомендацій із підвищення довговікості  
хрестовин стрілових переводів на залізничних доріжках  
відповідно до вимог EN 13 232

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з якими виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 27.11.2021

Підпис



Керівник

Підпис

д.т.н. Ковальчук Р.В.  
(ПІБ керівника)



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**Днепровский национальный университет железнодорожного**  
**транспорта имени академика В. Лазаряна**  
**Кафедра «Транспортная инфраструктура»**

**НАЦИОНАЛЬНАЯ ШКОЛА МАСТЕРСТВА И ПРОФЕССИЙ**  
**СНАМ, ФРАНЦИЯ**

«К ЗАЩИТЕ ДОПУЩЕНО»

Заведующий кафедрой:

д.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Тютюкин А. Л.  
(уч. звание, степень) (подпись) (ФИО)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
**К ДИПЛОМНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЕ**

на получение ОКУ «магистр»

Направление 27 «Транспорт»

Специальность 273 «Железнодорожный транспорт»

Специализация «Интероперабельность и безопасность на железнодорожном  
транспорте»

Тема Разработка рекомендаций по повышению долговечности крестовин  
стрелочных переводов на железных дорогах Украины в соответствии с  
требованиями EN 13232

Выполнил:

\_\_\_\_\_ Драган Назар Владимирович  
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Руководитель:

д.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Ковальчук В. В.  
(уч. звание, степень) (подпись) (фамилия и инициалы)

Днепр

2021

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		1

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И СЛОВАРЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

МЦХ	Математический центр крестовины
ВУС1	Усовик первый
ВУС 2	Усовика второй
С	Сердечник крестовины
ПТЕ	Правила технической эксплуатации
АСУ	Автоматизированная система управления
ЕС	Европейский Союз
ТСИ	Технические спецификации интероперабельности
УИ	Управление инфраструктурой
NS	Norfolk Southern
EN	Европейский стандарт
СП	Стрелочный перевод
Крестовина	Обеспечивает прохождение колес подвижного состава в местах пересечения рельсовых нитей одного пути на другой
Стрелка	Часть стрелочного перевода, состоящая из рамных рельсов, остряков и переводного механизма. При наличии крестовин с подвижным сердечником в понятии стрелки входит и крестовина.
Стрелочный перевод	Устройство, служащее для перевода подвижного состава с одного пути на другой. Стрелочные переводы состоят из стрелок, крестовин и соединительных путей между ними. Крестовины могут быть с неподвижным или подвижным сердечником.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВСТУПЛЕНИЕ</b> .....	<b>6</b>
<b>1. ТРЕБОВАНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ К ИНФРАСТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ УКРАИНЫ И ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА К КРЕСТОВИНАМ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ</b> .....	<b>8</b>
1.1. Данные статистических исследований причин изъятия крестовин стрелочных переводов с эксплуатации .....	8
1.2. Требования интероперабельности к транспортной инфраструктуре ...	8
1.3. Требования технических документов Украины и Европейского Союза в крестовинах стрелочных переводов .....	10
1.4. Требования норм BS EN 13232 к долговечности крестовин стрелочных переводов .....	12
1.5. Анализ методов повышения долговечности крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации .....	13
Выводы к разделу 1.....	15
<b>2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b> .....	<b>16</b>
2.1. Анализ эволюции продольного профиля крестовин стрелочных переводов.....	16
2.2. Методика проведения измерений продольного профиля крестовин на железных дорогах Украины.....	18
2.3. Повышение долговечности крестовин стрелочных переводов методом наплавки .....	20
2.4. Требования нормативных документов железных дорог Украины к выполнению наплавки крестовин стрелочных переводов.....	20

<b>0053. 206517.ДР.2021.001</b>										
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата						
Разраб		Драган Н.В.								
Проверил		Ковальчук В.В								
Н. контр.										
Утвердил		Тютькин А.Л.								
Разработка рекомендаций по повышению долговечности крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Украины в соответствии с требованиями EN 13232.										
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">Лит</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Лист</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Листов</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>					Лит	Лист	Листов			
Лит	Лист	Листов								

2.5. МЕТОДЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ СТРАН ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА .....	22
2.6. ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ КРЕСТОВИН МЕТОДОМ НАПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРЕДОВОГО ЕВРОПЕЙСКОГО ОПЫТА.....	24
2.6.1. ТЕХНОЛОГИЯ ШВЕДСКОЙ МЕТОДИКИ НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН ESAB .....	24
2.6.2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРЕСТОВИН АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ RAILTRAC BV / BVR 1000.....	26
2.6.3. НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН АВТОМАТОМ ПУНАР-2.2.....	27
2.6.4. КОМПЛЕКС TRANSAMATIC ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ .....	27
2.6.5. УСТАНОВКА TANSLAMATIC ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ .....	29
Выводы к разделу 2.....	31

### **3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЯЕ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ**

#### **МЕТОДОМ НАПЛАВКИ..... 32**

3.1. МЕТОДИКА НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА.....	32
3.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ.....	34
3.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ.....	34
3.2.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПЛАВКИ КРЕСТОВИН В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ .....	35
3.2.3. ТРЕБОВАНИЯ К КРЕСТОВИНАМ, ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ НАПЛАВКОЙ.....	38
3.3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ EN 13232-1.....	41

Выводы к разделу 3.....	42
<b>4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРЕСТОВИНЫ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ В СООТВЕТСТВИИ С EN 13232-1 .....</b>	<b>44</b>
4.1. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСА ПО КРЕСТОВИНАМ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ .....	44
4.1.1. ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСА ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАННОМУ ПРОДОЛЬНОМУ ПРОФИЛЮ КРЕСТОВИНЫ .....	46
4.2. МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕСТОВИН И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	47
4.2.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИН ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КРЕСТОВИНЫ И КОЛЕСА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	49
4.3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В СООТВЕТСТВИИ С EN 13232-1 .....	51
Выводы по главе 4.....	52
<b>ВЫВОДЫ .....</b>	<b>53</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>55</b>
<b>СПИСОК РИСУНКОВ.....</b>	<b>58</b>
<b>СПИСОК ТАБЛИЦ .....</b>	<b>61</b>
<b>АННОТАЦИЯ И КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА .....</b>	<b>62</b>

## ВСТУПЛЕНИЕ

Крестовины стрелочных переводов имеют низкий срок службы по сравнению с другими элементами стрелочных переводов железной дороги. Это связано с особенностью конструкций крестовин и условиями их эксплуатации и взаимодействия с подвижным составом железных дорог в зоне перекатывания колес с одного направления движения на другое.

К эксплуатационным условиям, которые влияют на срок службы крестовин стрелочных переводов относятся: грузонапряженность участка пути, осевые нагрузки подвижного состава, скорости движения подвижного состава и техническое состояние колес подвижного состава. Кроме этого влияет рациональность проекту крестовины стрелочного перевода под определенные условия эксплуатации.

На срок службы крестовин стрелочных переводов значительное влияние имеет продольный профиль крестовины.

Кроме этого, если рассматривать крестовину, как составляющая интероперабельности, которая должна обеспечить возможность эксплуатации всех возможных технических систем железных дорог, которые существуют на европейском континенте то вопросы совершенствования крестовины должны быть рассмотрены в контексте норм действующих в странах Европейского союза.

Этим вопросам и посвящены исследования, выполненные в магистерской работе.

**Актуальность работы.** Как показывает опыт эксплуатации крестовин стрелочных переводов на сегодня нормативный срок службы крестовин типа Р65 марки 1/11 на железобетонных брусках не достигает нормативного срока наработки, практически в два раза, а средняя наработка до отказа от нормативного на 29,2–55,2% является меньше.

Поэтому продление срока службы крестовин стрелочных переводов в эксплуатации является актуальной задачей магистерской работы.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		6

Восстановление эксплуатационных показателей крестовин, с одновременным совершенствованием продольного профиля крестовины даст значительный экономический эффект за счет экономии средств на замену новой крестовины.

Для повышения срока службы крестовины стрелочных переводов, в магистерской работе проведены исследования влияния продольного профиля крестовины на величину динамической добавки сил, возникающих при прохождении подвижным составом крестовинной части.

**Цель работы.** Целью магистерской работы является исследование, направленные на повышение долговечности крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Украины в соответствии с требованиями нормативного документа EN 13232.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ нормативных документов стран Европейского Союза, предъявляемых к крестовинам стрелочных переводов;
2. Провести анализ методов продления долговечности крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации;
3. Усовершенствовать продольный профиль крестовины с целью выбора наиболее оптимального из силового взаимодействия крестовин и подвижного состава;
4. Провести исследование динамического взаимодействия крестовины с подвижным составом при различных типах продольного профиля крестовины;
5. Дать рекомендации по продлению срока службы крестовин стрелочных переводов.

**Объектом исследования** является крестовины стрелочных переводов марки 1/11 типа Р65, которые эксплуатируются на железобетонных брусках.

**Предметом исследования** являются методы продления срока службы крестовин стрелочных переводов.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		7

**РАЗДЕЛ 1**  
**ТРЕБОВАНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ К ИНФРАСТРУКТУРЫ И**  
**АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ УКРАИНЫ И**  
**ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА К КРЕСТОВИНАМ**  
**СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ**

**1.1. Данные статистических исследований причин изъятия крестовин стрелочных переводов с эксплуатации**

Анализ причин изъятия крестовин с эксплуатации, с учетом конструкции крестовин, показал, что для сборных прямых крестовин количество изъятий за износом составляет 57%, по дефектам 43% [1, 2].

Для сборных крестовин с литым сердечником количество изъятий за износом составляет 36%, по дефектам 64%. Для цельнолитых крестовин, типа общей отливки части усювиков количество изъятий за износом составляет 48%, по дефектам 52%.

Из проведенного анализ видно, что основными причинами изъятия крестовин с эксплуатации является вертикальный износ усювиков и сердечника крестовины и развитие дефектов.

Поэтому вопросы совершенствования продольного профиля крестовин является актуальной задачей магистерской работы.

**1.2. Требования интероперабельности к транспортной инфраструктуре**

Директивой Европейского Союза 2016/797 [3] «совместимость» означает способность железнодорожной системы обеспечивать безопасное и бесперебойное перемещение поездов, обеспечивающих необходимый уровень производительности.

То есть можно сказать, что интероперабельность это способность железнодорожных систем обеспечить совместимое и бесперебойное движение подвижного состава с необходимым уровнем эффективной работы железнодорожного транспорта, направления связано с безопасностью движения

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		8

подвижного состава по крестовинах стрелочных переводов железных дорог Украины и ЕС.

Это регулируется нормативными требованиями, техническими условиями и соблюдением стандартов и правил, действующих на железнодорожном транспорте.

С технической точки зрения интероперабельность должна обеспечить технические требования при эксплуатации железнодорожных систем [3].

Одним из влиятельных факторов надежности системы является техническое состояние железнодорожного пути. Следует отметить, что уровень безотказной взаимодействия конструкции пути с подвижным составом зависит от уровня безотказной работы составляющих систем инфраструктуры.

Учитывая, что стрелочные переводы являются наиболее чувствительными составляющими системами по влиянию динамических нагрузок, то вопрос их исследования и оптимизации является актуальными.

Поэтому нам нужно достичь соответствующего технического состояния пути с учетом всех составляющих инфраструктуры. Одними из элементов которой является крестовины стрелочных переводов. Так, как без такого элемента пути невозможно реализовать движение как таковое, мы можем считать стрелочный перевод одним из составляющих интероперабельности пути для которого должны обеспечить надежность системы. Надо добиться нужного нам уровня технического состояния и уровня безотказной работы крестовины, что указано в нормативном документе ТСИ «Инфраструктура» и директиве ЕС 797 [3].

В директиве ЕС 797 [3] отмечено, что железнодорожные пути, расположенные в странах Балтии, имеют ширину колеи 1520 мм, которая является такой же, как в соседних третьих странах, но отличается от железнодорожного пути в пределах Союза должны иметь общие требования эксплуатации таких путей. Балтийские пути унаследовали общие технические и эксплуатационные требования, которые обеспечивают де-факто совместимость

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		9

между ними, и в этом отношении авторизация транспортного средства, выданная в одном из государств-членов, может быть действительной для других сетей железных дорог стран Европейского Союза и третьих стран [4].

С целью отслеживания и повышения уровня безопасности движения, компетентные органы государств-членов должны обеспечить имплементацию норм содержания и безопасности движения подвижного состава из третьих стран в европейскую сеть железнодорожных перевозок, но с учетом требований к инфраструктуре всех государств.

### **1.3. Требования технических документов Украины и Европейского Союза в крестовинах стрелочных переводов**

Согласно нормативному документу ДСТУ 4344:2004 [5] для изготовления крестовин стрелочных перед используется 20 марок стали. При этом эти марки есть разные физико-механические характеристики.

Проанализировав нормативный документ Европейского Союза EVS EN 13232-1 [6], установлено, что он выдвигает жесткие требования к крестовинам стрелочных переводов по сравнению с ДСТУ 4344: 2004 [5].

По ГОСТ 4344:2004 качество стали определяют по данным механических испытаний на статические, циклические и динамические нагрузки из готовых крестовин. Такой стандарт предусматривает испытания стали на статическое растяжение цилиндрических образцов и ударную вязкость призматических образцов с односторонним надрезом. Однако стандарт EVS EN 10002-1 кроме испытаний цилиндрических образцов на статическое растяжение, по стандарту определяется твердость поверхности катания крестовины по Бринеллю (в соответствии с международным стандартом EN ISO 6506-1).

По американскому стандарту ASTM E399 предусмотрено определение характеристик вязкости разрушения на компактных образцах, определения характеристик стали при циклической нагрузке, а также определения скорости роста трещины на трехточечный циклический изгиб крестовины с надрезом (по британскому стандарту BS 6835-1).

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

Вышеупомянутые стандарты устанавливают предельные значения к характеристикам механических свойств образцов крестовины при указанных испытаниях, но касаются они только новых крестовин.

Однако стандарт в Украине не учитывает структурную неоднородность стали крестовины, что приводит к дефектам в условиях эксплуатации крестовин.

Также, эти процессы способствуют возникновению анизотропии всех механических свойств стали крестовины, а также наличие неоднородных полей остаточных напряжений в крестовине. При действии силовых, температурных, климатических и электромагнитных нагрузок в процессе эксплуатации крестовины будут испытывать износ и дефектов, будет влиять на срок долговечности крестовин.

Также следует отметить, что в нормативных документах Украины отсутствует методика определения остаточного ресурса крестовин стрелочных переводов.

Остаточный срок эксплуатации крестовин можно определить на основе проведения экспериментальных, эксплуатационных и теоретических исследований.

В странах Европейского Союза проводятся экспериментальные исследования крестовин стрелочных переводов с использованием специального оборудования [7]. В Великобритании для этого используют установку, обеспечивающую контакт крестовины с колесом подвижного состава, но допускает проскальзывания колеса по поверхности крестовины.

В австрийской фирме VoestalpineSchienen GmbH для изучения контактной взаимодействия крестовин и колес подвижного состава используют стенд в котором реализуется контакт реального колеса с куском реального рельса.

В таких странах, как США, Япония, Германия и Россия для исследования крестовин используют экспериментальные полигоны. В Украине таких экспериментальных полигонов нет.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11

Остановимся на теоретических исследованиях, требующих разработки математической модели деформирования, накопления повреждений и разрушения материала, из которого изготовлена конструкция крестовины и расчета кинетики напряженно-деформированного состояния крестовин и оценки динамического взаимодействия пути и подвижного состава. Теоретические исследования долговечности крестовин отражено в трудах ученых [8–21].

На сегодня Европейська комиссия создала рабочую группу для разработки инженерной методики прогнозирования долговечности крестовин (проект INNOTRACK [16]). Этот подход основан на концепции повреждения материала крестовины в процессе эксплуатации [15].

Теоретический подход в отличие от экспериментального имеет некоторые свои преимущества, скажем, дает возможность проводить оценку долговечности крестовин с заданием различных воздействий, используя при этом входные величины получены экспериментальным путем.

К таким воздействиям можно отнести скорость подвижного состава, величины радиусов кривизны, профили поверхностей качения колес и крестовины, механические свойства материалов колес и крестовины, наличие дефектов разного рода и др. Поэтому с помощью теоретических методов с использованием экспериментальных данных можно решить проблему повышения долговечности крестовин стрелочных переводов.

#### **1.4. Требования норм BS EN 13232 к долговечности крестовин стрелочных переводов**

Согласно нормативному документу EN 13232 до крестовин стрелочных переводов относятся следующие требования:

1. Крестовины стрелочных переводов должны обеспечить пропуск подвижного состава с максимальными скоростями движение без отказной работы;
2. Крестовины должны быть долговечными и надежными в эксплуатации;

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		12

Если, более подробно вникнуть в первое требование, то она требует усовершенствования проекту хрестовин.

Для выполнения второго пункта требований BS EN-13232 необходимо проектировать крестовины стрелочных переводов с поперечными уклонами сердечника и усовика крестовины максимально приближенными под поперечный профиль колеса подвижного состава, что позволит обеспечить достаточную площадь контакта колеса и крестовины.

### **1.5. Анализ методов повышения долговечности крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации**

Задача продления срока службы крестовин стрелочных переводов решались и решается в настоящее время различными путями, а именно:

- совершенствование существующих и разработка новых проектов конструкций крестовин;
- поиск эффективных регулирующих добавок и новых марок сталей для изготовления крестовин;
- совершенствование технологии изготовления крестовин;
- укрепление поверхностей качения крестовин;
- совершенствование системы ведения путевого хозяйства;
- разработка новых и совершенствование существующих методов восстановления крестовин.

Каждый из этих методов имеет по несколько принципиально разных направлений, которые с разной степенью эффективности приближают к решению основной задачи, а именно повышение долговечности крестовины стрелочных переводов.

Именно этому вопросу посвящена магистерская работа в которой предлагается без изменения длины и марки крестовины стрелочных переводов менять только продольный профиль в процессе наплавки таким образом, чтобы величина динамического взаимодействия подвижного состава и крестовины

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		13

была наиболее оптимально (уменьшались величины динамических сил взаимодействия). То есть в этом случае необходимо оптимизировать продольный профиль таким образом, чтобы обеспечить максимальную долговечность крестовины.

На железных дорогах Украины эффективно эксплуатируется моноблочная крестовина, Днепровского стрелочного завода, проекта Дн 345 типа Р65 марки 1/11 колеи 1520 мм на железобетонных брусках с приварными рельсовыми окончаниями и остряками (рис. 1.1).

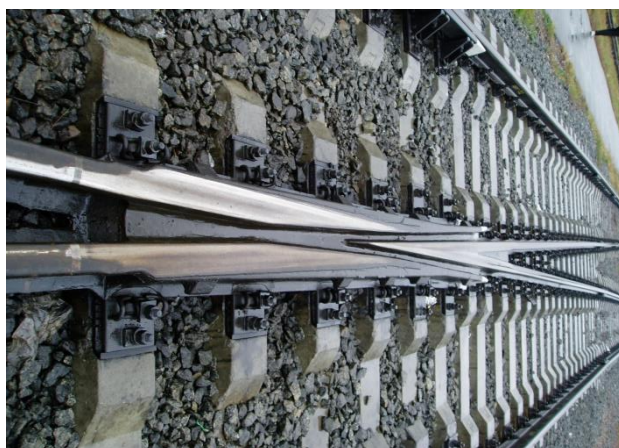


Рисунок 1.1 – Моноблочная крестовина проекта Дн345 в пути

Моноблочная крестовина с приварными рельсовыми окончаниями является усовершенствованной конструкцией по сравнению с базовым стрелочным переводом типа Р65 марки 1/11 проекту М1740 на железобетонных брусках, которая существенно уменьшает силовую динамику при прохождении колес подвижного состава по крестовине, уменьшает накопление вертикального износа крестовины, в 1,3 1,5 раз и увеличивает срок ее службы в условиях эксплуатации.

Приварка рельсовых окончаний моноблочной крестовины в заднем стыке крестовины (хвосте) до рельсового профиля из углеродистой стали к марганцовистой стали, выполненная по специальной новой технологии, дает возможность варивания крестовины в бесстыкового пути и тем самым создает бесстыкового стрелочный перевод с безударной поверхностью катания. Эти

усовершенствования крестовины обеспечивают комфортном движения пассажиров и безопасность движения подвижного состава железных дорог.

### Выводы к разделу 1

Из проведенного анализа нормативных требований к крестовинам стрелочных переводов установлено следующее:

1. Одним из главных конструктивных параметров, который влияет на долговечность крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации является продольный и поперечный профили крестовины.

2. Долговечность и безотказная работа крестовины определяется величиной динамического взаимодействия ее с подвижным составом железных дорог.

3. Одним из методов повышения долговечности крестовин является оптимизация продольного профиля крестовины под размеры, которые обеспечат наибольшую площадь контакта колеса и поверхности крестовины.

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		15

## РАЗДЕЛ 2

### МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

#### 2.1. Анализ эволюции продольного профиля крестовин стрелочных переводов

Начиная с 1952 продольный профиль крестовин стрелочных переводов претерпел существенных изменений и усовершенствований. В основном усовершенствования продольного профиля происходило в пределах сердечника и усювиков крестовины.

Эволюция изменений продольного профиля крестовины со временем приведена на рис. 2.1.

С проектных параметров продольного профиля крестовины видно, что он имеет повышение уровня усювиков над сердечником во всех предложенных вариантах проектов. Причем это повышение происходит от горла крестовины и заканчивается в пересечении сердечника величиной 35 мм, или 40 мм.

Максимальное повышение усювика предложено +7 мм в проекте крестовины в соответствии с ОСТ 32.51 - 83с.

Этот профиль имеет криволинейное очертание усювиков, что наиболее вероятно отражает реальную форму усювиков, с учетом заводской технологии строгания.

Сегодня на железных дорогах Украины зарекомендовал себя профиль ГОСТ 28370 - 89 [18] (рис. 2.1, з). Он отличается от предыдущего ОСТ 32.51 - 83с значениями величин подъема усювиков над сердечником крестовины.

Как показали результаты эксплуатации такой профиль является наиболее работоспособным по сравнению с предыдущими профилями ГОСТ 32.11 - 78 и ГОСТ 10122 - 62.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		16

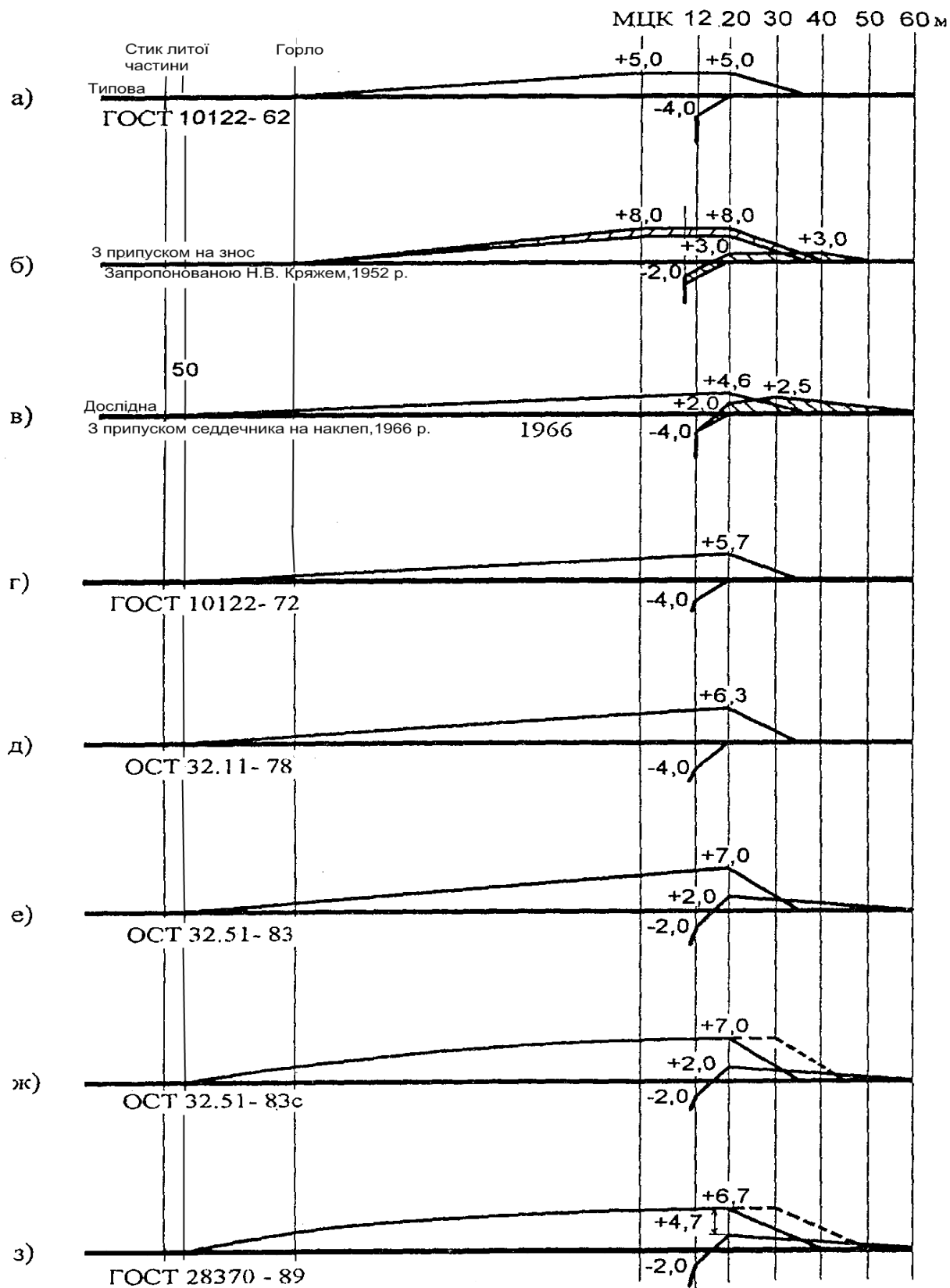


Рисунок 2.1 – Проекты продольного профиля крестовин стрелочных переводов [17]

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

0053.206517.ДР.2021.001

Лист

17

Однако следует отметить, что в процессе эксплуатации крестовины стрелочных переводов испытывают износа, при превышении допустимых норм, нормативным документам требуется необходимость изъятия их из эксплуатации.

Поэтому в магистерской работе предлагается исследования по повышению долговечности крестовин стрелочных переводов методом наплавки. При этом наплавка выполняется в полевых условиях, но одновременно с изменением продольного профиля крестовин.

Далее рассмотрим современные методы, которые используются в Украине и странах Европейского Союза для выполнения наплавки крестовин стрелочных переводов.

## **2.2. Методика проведения измерений продольного профиля крестовин на железных дорогах Украины**

Измерение продольного профиля крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Украины проводится в таких сечениях крестовины:

- горло крестовины;
- математический центр крестовины;
- сечение 12 мм сердечника;
- сечение 20 мм сердечника;
- сечение 30 мм сердечника;
- сечение 40 мм сердечника;
- сечение 50 мм сердечника.

Схема измерений продольного профиля крестовины [47] с указанием расстояний для крестовин марок 1/11 и 1/9 на железобетонных брусках, приведена на рис. 2.2.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		18

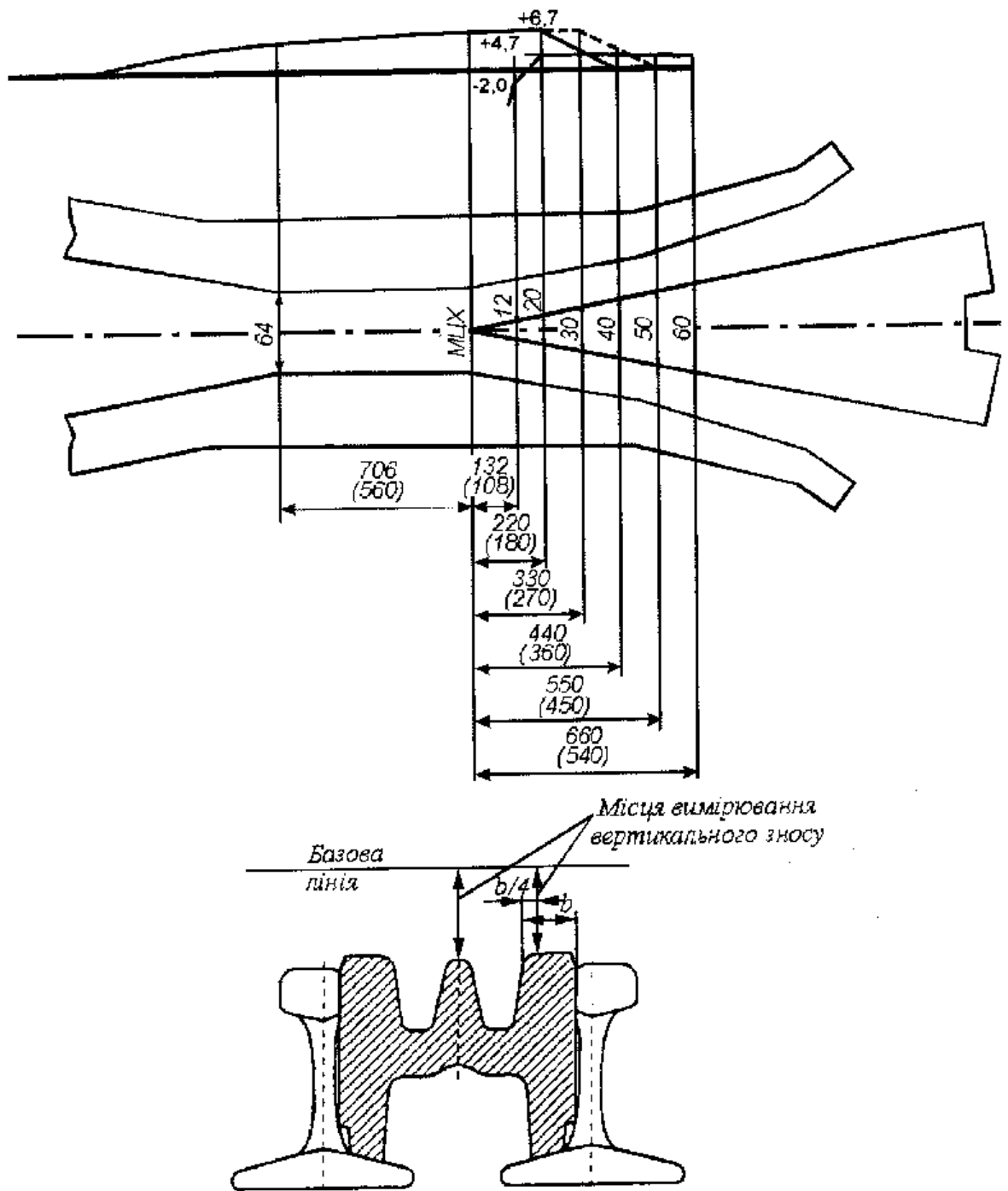


Рисунок 2.2 – Схема измерений продольного профиля крестовин стрелочных переводов типа Р65 марок 1/11 и (1/9) на железобетонных брусках [19]

Вертикальний износ усювиков и сердечника крестовины определяется как разница между проектним и фактическим повышением продольного профиля в соответствующих сечениях крестовины.

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

0053.206517.ДР.2021.001

Лист

19

### **2.3. Повышение долговечности крестовин стрелочных переводов методом наплавки**

В мировой практике продолжение долговечности крестовин стрелочных переводов выполняется полностью автоматизированным оборудованием. Однако на железных дорогах Украины используются ручные методы наплавки, что негативно оказывается на качестве наплавочных работ.

Следует отметить, что ручную наплавку рекомендуется использовать для восстановления крестовин по длине не более 150 мм, и глубиной не более 6 мм. При автоматической наплавке отсутствует влияние человеческого фактора, значительно повышается качество выполнения наплавки металла крестовин, и при этом уменьшается время выполнения наплавочных работ.

Принимая во внимание этот факт, что с каждым годом количество крестовин по сносу увеличивается необходимо применять автоматизированную наплавку.

На железных дорогах Швеции используется технология ремонта крестовин с применением механизированной электродуговой наплавки самозащитной порошковой проволокой.

Автоматизированная наплавка приводит к увеличению производительности в несколько раз, по сравнению с ручной наплавкой, обеспечивает увеличение безопасности движения поездов и пропускную способность железнодорожного пути.

### **2.4. Требования нормативных документов железных дорог Украины к выполнению наплавки крестовин стрелочных переводов**

Согласно нормам [20-22] крестовины стрелочных переводов подвергаются наплавке если вертикальный износ усювиков и сердечника не менее чем приведены в табл. I.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		20

**Нормы при наплавке крестовин стрелочных переводов,  
действующие на железных дорогах Украины**

Тип стрелочного перевода	Нормы износа крестовин, мм						
	Главные пути при скорости движения, км / ч					Главные пути при скорости движения 40 км/ч и меньше, приемно-отправочные пути	Станционные, подъездные и другие пути
	121-140	101-120	81-100	61-80	41-60		
P65	5	5	6	6	8	10	12
P50		5	6	6	8	10	12

Нормы [20-22] также устанавливают требования, при которых заборояется наплавка крестовин, если выявлены следующие дефекты:

- максимальный износ превышает 8 мм для главных, 10 мм для приемо-отправочных путей и 12 мм для других путей;

- острые крестовины с выкрашивания металла, раковинами, отслоениями на рабочей поверхности сердечника и усювиков длиной более 15 мм. Обнаружены трещины в металле сердечника или усювиков, или на поверхности наплавленного слоя в случае если после снятия металла с поверхности на глубину 2 мм и более выявлено внутренние дефекты;

- тупые крестовины с выкрашивания металла на поверхности катания, расположенным в зоне наплавки, длиной более 15 мм и глубиной 5 мм и более для главных и 8 мм – для приемо-отправочных и сортировочных путей.

При указанных дефектах стрелочных переводов проводить плавку крестовин не рекомендуется, поскольку это приведет к невозможности качественной наплавки крестовин, а соответственно и продления срока их службы в условиях эксплуатации.

Из этого следует, что наплавку крестовин необходимо проводить вовремя, то есть не допускать развития верикального износа большего значения приведены в табл. I. Для этого необходимы системы, относительно

									Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата	0053.206517.ДР.2021.001				21

своевременного выявления износа и предупреждения развития неисправностей крестовин стрелочных переводов.

## 2.5. Методы предупреждения неисправностей крестовин стрелочных переводов стран Европейского Союза

В настоящее время, одним из традиционных методов предупреждения развития и раннего выявления неисправностей стрелочных переводов в условиях эксплуатации является устройство Miniprof-Switch [23]. Который позволяет проводить измерения поперечного профиля сердечника крестовины по всей его длине (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Устройство Miniprof-Switch для измерения поперечного профиля крестовин стрелочных переводов [23]

Следует отметить, что им можно проводить измерения профиля только в конкретных местах сердечника, не дает объективной оценки технического состояния крестовины, что требует дополнительных исследований.

На железных дорогах Германии и Нидерландов в последние десять лет проводится разработка инерционных систем диагностики крестовин стрелочных переводов, таких как ESAH-M и ESAH-F [23].

Система ESAH-M (рис. 2.4) устанавливается стационарно на железнодорожном пути в пределах крестовинного узла. Она измеряет ускорение,

возникающие в контакте колеса и сердечника крестовины и делает запись скорости движения подвижного состава.



Рисунок 2.4 – Система ESAH-M для диагностики сердечника крестовины [23]

Другой, более перспективной является система ESAH-F (рис. 2.5), которая устанавливается на подвижном составе и при проезде поезда в крестовинном узле делается запись ускорений, возникающих в контакте колеса и крестовины и измеряет скорость подвижного состава.



Рисунок 2.5 – Система ESAH-F для диагностики сердечника крестовин [23]

Следует отметить, что система ESAH-F имеет преимущества перед системой ESAH-M, поскольку позволяет с помощью одного проезда выполнить диагностику нескольких крестовин стрелочных переводов. Только в лабораторных условиях требует ручной работы по сопоставлению результатов

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		23

измерений с привязкой к конкретной крестовины на конкретном участке железнодорожного пути.

Указанные устройства позволяют вовремя выявить допустимые износы и только, как это происходит работники железнодорожного транспорта должны провести наплавочные работы на крестовинах стрелочных переводов по специальным методикам.

## **2.6. Продление срока службы крестовин методом наплавки с применением передового Европейского опыта**

### **2.6.1. Технология шведской методики наплавки крестовин ESAB**

Ученые в докладах на конференциях отмечают, что 40% расходов средств идет на содержание рельсов и стрелочных переводов. Поэтому продление срока службы стрелочных переводов – самый оптимальный способ экономии, позволяет свести к минимуму замену изношенных элементов [24].

Поддержка пути в технически исправном состоянии – главное направление в обслуживании магистралей. И это не только существенное снижение затрат на ремонт рельсов, крестовин и деталей подвижного состава, но и безопасность движения.

Шведская фирма ESAB для восстановления работоспособности крестовин стрелочных переводов проводит наплавки крестовин самозащитной порошковой проволокой, изготавливаемых компанией ESAB. При этом ремонт методом наплавки, например, крестовины обходится не более чем в одну пятую часть от стоимости новой, очень перспективным методом экономии расходов средств железной дороги на инфраструктуру.

Следует отметить, что с 1998 года в технологиях ВНИИЖТ также широко используются самозащитные порошковые проволоки компании ESAB для восстановления крестовин стрелочных переводов.

Работа устройства ESAB в эксплуатации при наплавке крестовин приведена на рис. 2.6.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		24



Рисунок 2.6 – ESAB в работе при наплавке крестовины [24]

Для выполнения наплавки крестовины используется генератор с дизельным двигателем КНМ350, сварочный источник AristoMig 400 с подающим механизмом AristoFeed 48 и автоматические установки для наплавки крестовин Railtrac 1000 BV и Railtrac 1000 BVR.

Исследованиями установлено, что физико-механические свойства металла отремонтированной крестовины порошковой проволокой очень близки к значениям свойств металлов новой крестовины, а некоторые крестовины имеют наоборот высокие характеристики. Приведем некоторые из них, например, предел текучести – 870 МПа, временное сопротивление – 1086 МПа, относительное удлинение – 9,8%, относительное сужение – 28,2%, ударная вязкость – 40,1 Дж/см<sup>2</sup> и твердость по Брюнеллю – 362 НВ.

Также следует отметить, что структура металла характеризуется отсутствием дефектов в виде трещин, наплывов и раковин.

В результате проведенных исследований установлено, что восстановление изношенных крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации приводит к увеличению устойчивости крестовин в 1,5–2 раза, расход проволоки уменьшается на треть (по сравнению с використання электродов) и уменьшается время ремонта крестовин [24].

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		25

Следует отметить, что проведение наплавки крестовин с марганцовистой сталей не требует предварительного подогрева крестовины до 400° С.

Наплавка ведется продольными валиками с минимальным тепловложением, что также эффективно влияет на сокращение времени на выполнение наплавочных работ.

### **2.6.2. Восстановление долговечности крестовин автоматической установкой Railtrac BV / BVR 1000**

Автоматическая установка Railtrac BV 1000 / BVR 1000 (рис. 2.7) позволяет проводить наплавку крестовин стрелочных переводов в эксплуатации с помощью запрограммированного оборудования [25]. Она состоит из двух рельсовых захватов (креплений к рейсе), жесткого алюминиевого профиля (направляющей рейси), электронного блока управления и дистанционного управления.



Рисунок 2.7 – Наплавка крестовин с использованием установки Railtrac BV 1000/BVR 1000 [25]

По техническим характеристикам установка Railtrac BV 1000 / BVR 1000 позволяет проводить наплавку со скоростью 0,1–1,5 м/мин при этом скорость

наплавки составляет 4–50 мм/с. За один цикл позволяет провести наплавку крестовин от 6 см до 99 см.

### **2.6.3. Наплавка крестовин автоматом Пунар-2.2**

Наплавка высокомарганцевых крестовин с помощью автомата Пунар-2.2 [26] (рис. 2.8) предусматривает использование самозащитных порошковых проволок в автоматическом режиме наплавки.

Автомат для наплавки состоит из передвижного корпуса и микропроцессорного блока управления автоматом.



Рисунок 2.8 – Наплавка крестовин автоматом Пунар 2.2 в полевых условиях [26]

По техническим характеристикам автомат Пунар-2.2 позволяет проводить плавку крестовин в области с размерами: длина 1250 мм и ширина 350 мм.

### **2.6.4. Комплекс TRANSAMATIC для автоматической наплавки крестовин стрелочных переводов**

Автоматическая электродуговая наплавка высокомарганцевых сталей крестовин выполняется с помощью устройства TRANSLAMANGA при этом используются самозащитные порошковые проволоки диаметром 1,6 мм.

Срок службы крестовин стрелочных переводов восстановленных данной установкой в 2 раза выше, чем крестовин наплавленных ручным способом. Кроме этого автоматическая наплавка сердечника и усювиков позволяет

получать наплавленный металл более высокого качества по сравнению с ручной наплавкой.

Перед наплавкой проводится идеальное шлифование крестовины с целью полного удаления дефектов. Контроль на отсутствие дефектов проводится цветным капиллярным дефектоскопом.

Следует отметить, что сложность качественной наплавки высокомарганцевых сталей крестовины заключается в том, что при нагревании образуются трещины в металле. В результате крестовины необходимо наплавлять узкими одиночными сварочными швами с обязательным чередованием наложением валиков усовик-сердечник-усовик (рис. 2.9).

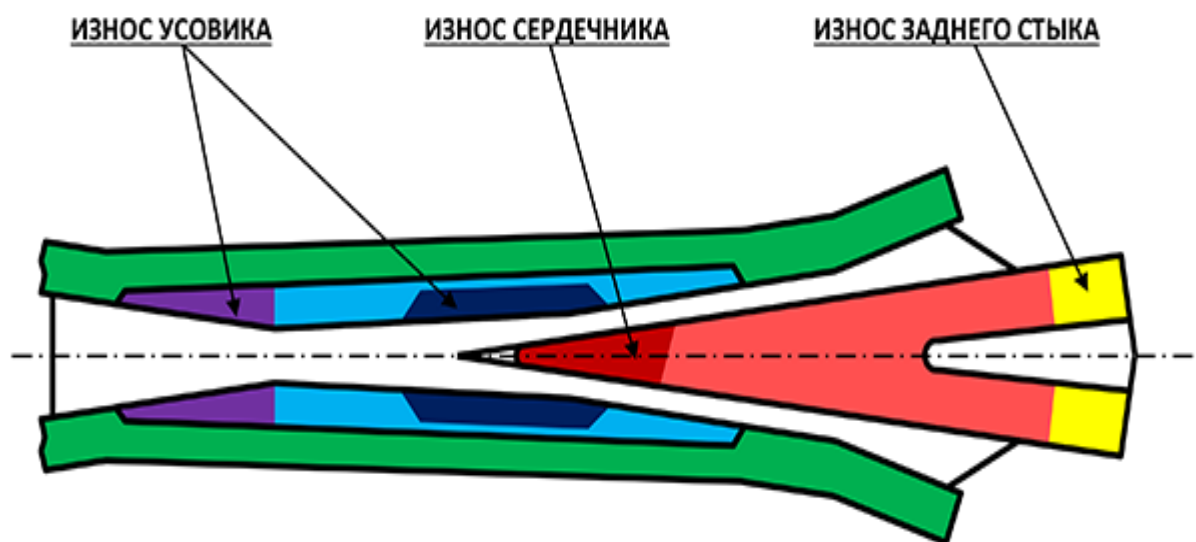


Рисунок 2.9 – Схема наплавки крестовин с использованием наплавочного комплекса TANSLAMATIC [25]

Наплавочная комплекс TANSLAMATIC позволяет проводить четко наплавку отдельно усовиков, сердечника и отдельно заднего стыка крестовины.

Как видно из рис. 2.10 сердечник наплавляемый в виде треугольника, усовика и задний стык крестовины наплавляемых в виде четырехугольника.

При наплавке тупых крестовин типа 2/6, 2/9, и 2/11, наплавка выполняется 4 фигурами. Наплавки крестовин проводится в два этапа: сначала например, левая половина, потом права или наоборот.

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата

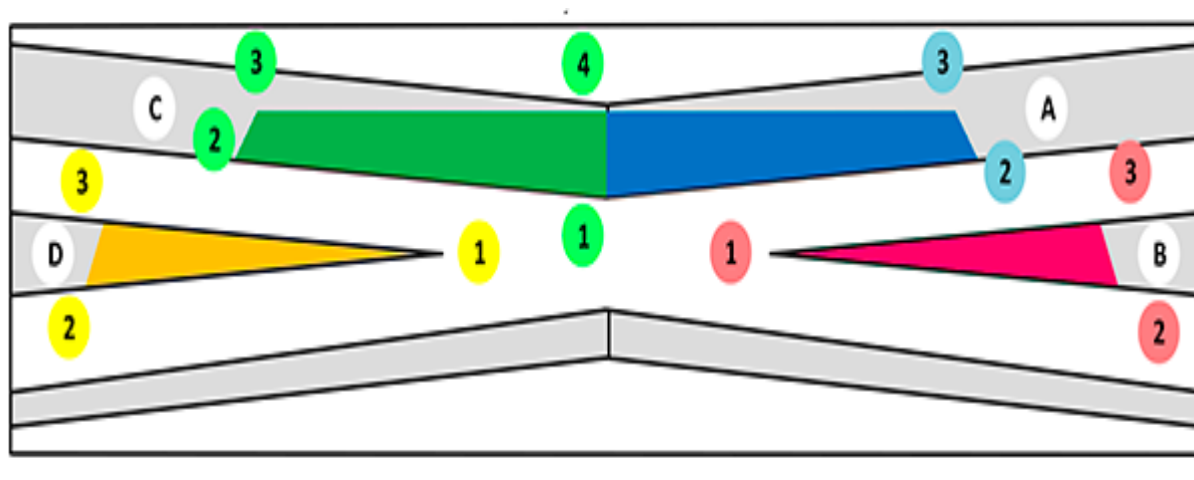


Рисунок 2.10 – Рекомендуемая схема наплавки тупых крестовин с использованием комплекса TRANSLAMATIC

Наплавка крестовин проводится в несколько слоев, с припуском на дальнейшую механическую обработку. Наплавки крестовины проводится без остановки движения поездов с ограничением скорости до 40 км/ч.

Наплавка системой TRANSLAMATIC успешно эксплуатируется на железных дорогах Европы, Африки, Америки и в странах СНГ: России, Белоруссии, Украины, Грузии и Казахстане.

Также система TRANSLAMATIC учитывает особенности условий эксплуатации на сети железных дорог. К этим особенностям можно отнести большую протяженность дистанции пути, высокую интенсивность движения на некоторых направлениях, недостаточной квалификации персонала и др.

### **2.6.5. Установка TRANSLAMATIC для выполнения наплавки крестовин стрелочных переводов**

Наплавочной комплекс TRANSLAMATIC оборудован специальными креплениями для установки на крестовину стрелочных переводов (рис. 2.11).

Наплавочной комплекс Translamic полностью автоматизированным и позволяет с помощью специального оборудования проводить плавку высокомарганцевых сталей крестовин стрелочных переводов. При этом наплавка

проводится одиночными продольными валиками. Форма наплавки усовиков – четырехугольник, сердечник – треугольник.

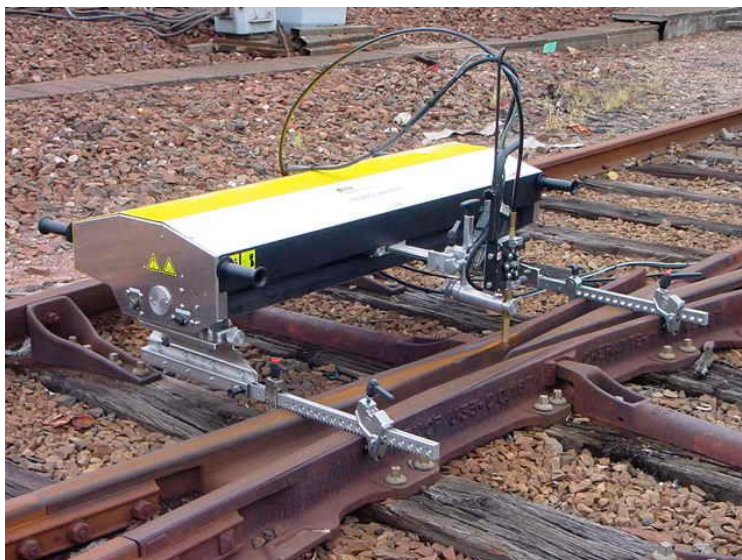


Рисунок 2.11 – Установка система Tanslamatic закреплена на крестовине

В процессе наплавки на дисплее блока управления комплекса отображается информация: число наплавленных швов и номер валика, накладывается на поверхность усовика, или сердечника.

Преимущества данной конструкции: удобный пульт управления; графический экран; удобство и скорость программирования установки для задания области наплавки крестовины.

Таким образом, использование автоматических наплавочных комплексов приводит к значительному повышению производительности труда. Позволяет повысить качество наплавочных работ, сокращается общее время и стоимость ремонта крестовин.

Целесообразность применения автоматической наплавки оправдана еще тем, что сварщик не может долгое время вести наплавочные работы в зоне с повышенной температурой, также сказывается на качестве работы. Кроме того, при наплавке крестовин, сварщик не способен наплавлять параллельные узкие сварочные швы равной длины 400–600 мм.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		30

## Выводы к разделу 2

С проведенного анализа методов наплавки крестовин стрелочных переводов можно сделать следующие выводы:

1. Использование автоматических наплавочных комплексов приводит к значительному повышению производительности труда. Позволяет повысить качество наплавочных работ, сократить общее время и стоимость ремонта крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации.

2. Автоматизированная наплавка крестовин позволит повысить долговечность крестовин в эксплуатации и уменьшить расходы средств путевого хозяйства железной дороги на инфраструктуру.

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		31

### РАЗДЕЛ 3

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ

### 3.1. Методика наплавки крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Европейского Союза

Наплавка крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Европейского Союза выполняется двумя методами. Первый метод, это наплавка углеродистых крестовин непрерывно поперечными швами. Второй метод предполагает наплавку высокомарганцевых крестовин узкими одиночными швами, с дежурства усовика, сердечника, усовика и т.д .. Следует отметить, что сердечник наплавляемый V-образными валиками (рис. 3.1).

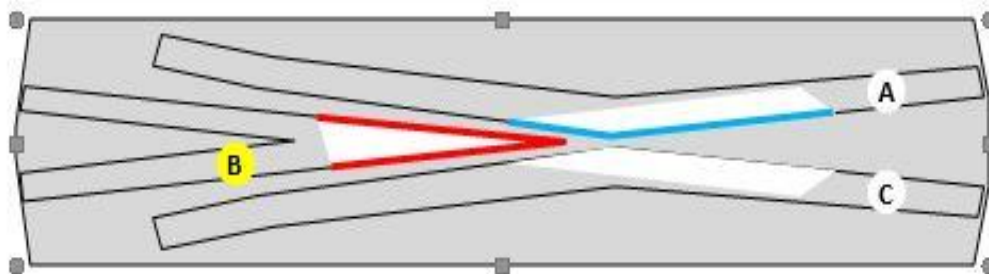


Рисунок 3.1 – Методика наплавки крестовин на железных дорогах Европы V-образными валиками

При наплавке сердечника высокомарганцевой крестовин швами в форме «V» швов существует вероятность перегрева металла в острие сердечника, что приводит к образованию горячих трещин. Чтобы исключить перегрев металла крестовин наплавку следует выполнять узкими швами с чередованием усовиков и сердечника (рис. 3.2).

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата

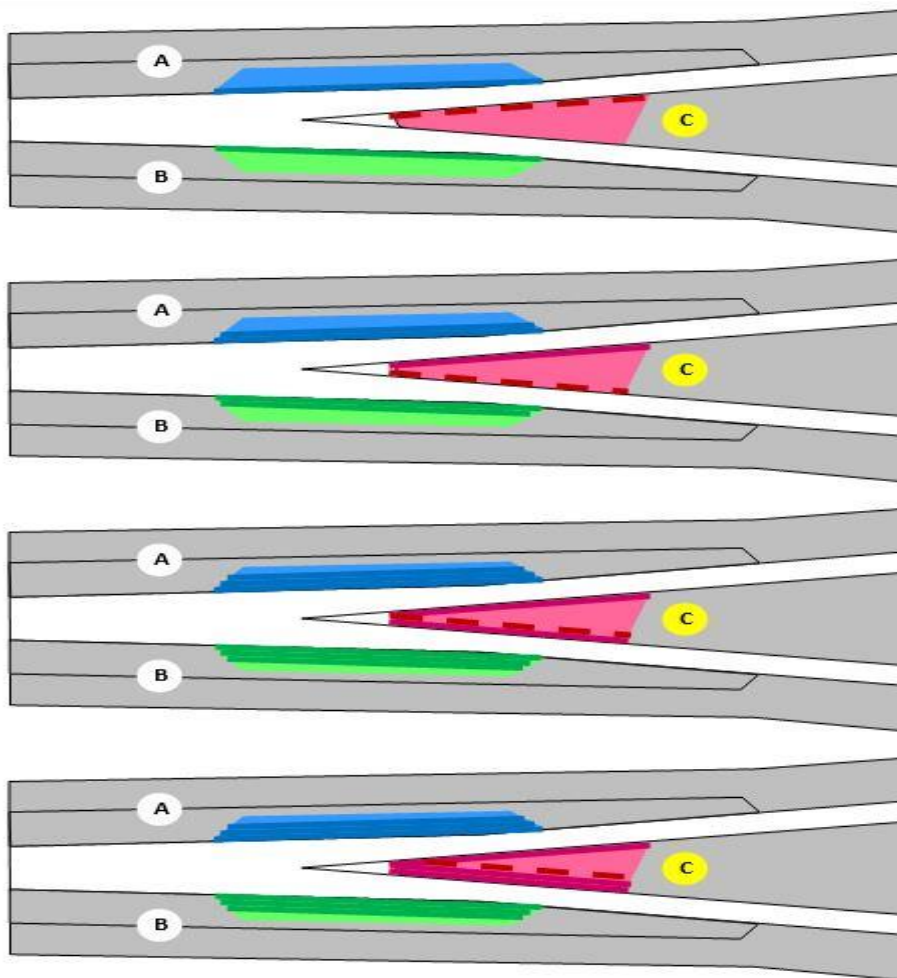


Рисунок 3.2 – Методика наплавке дефектных крестовин в Европе

На сердечник валики накладываются в определенном порядке. Первый валик наплавляемый на любой рабочей грани, второй валик наплавляемый на другой грани, третий и последующие швы наплавляемых параллельно второму, начало каждого шва – первый валик, направление наплавки всех швов идет от острия сердечника.

Также следует отметить, что на железных дорогах Европы наплавку сердечника рекомендуется выполнять в виде трапеции с углом  $40-50^\circ$ , чтобы колесо плавно перекачивалось из основного металла на наплавленный и наоборот. При этом наплавка должна начинаться и заканчиваться на нерабочей части крестовины.

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

На рабочей грани запрещается начинать и заканчивать наплавку, чтобы исключить вероятность образования дефектов в металле крестовины в момент гашения дуги.

### **3.2. Методика проведения наплавки крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Украины**

#### **3.2.1. Общие положения исполнения наплавки крестовин стрелочных переводов**

Согласно нормативных требований наплавка крестовин стрелочных переводов на железных дорогах Украины требует подготовки крестовины к наплавки, а именно необходимо сначала наплавить конце заднего стыка крестовины при износе их более 2 мм и изношенные конце рельсов, примыкающих к крестовине, разрешается отклонение конца рельса относительно крестовины по высоте не более 1 мм.

Крестовина должна быть установлена в проектное положение и хорошо закрепленной. При наличии седловины на рейке, примыкающей к крестовины нужно сделать замену рельса.

Перед наплавкой на крестовине вишлифовуются канавки глубиной 1,5 мм (рис. 3.3) по границам наплавки на сердечнике и усовика, а со всей поверхности, подлежащей наплавке, изымается слой металла на глубину не меньше, чем 1,5 мм.

После шлифовке дефектного металла в острие сердечника или усовика величина местного углубления не должна превышать 7 мм на длине 40 мм в крестовинах, которые эксплуатируются в главных путях, и соответственно 10 мм и 50 мм – на прямо-отправочных и сортировочных путях.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		34

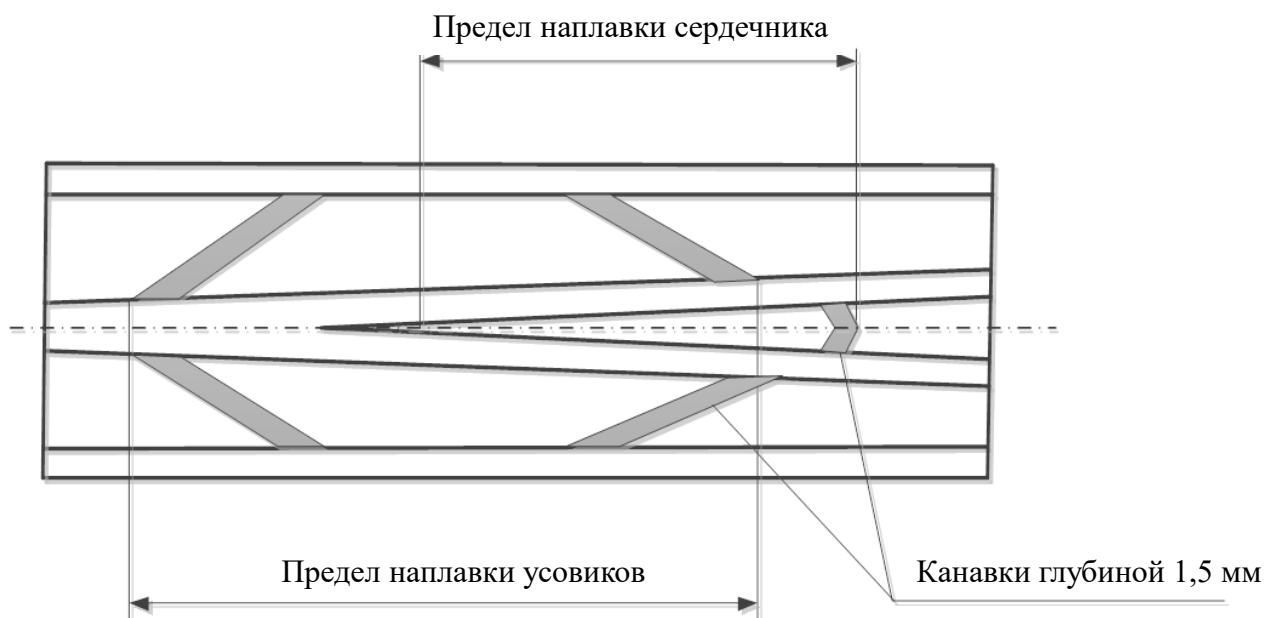


Рисунок 3.3 — Схема подготовки крестовины к наплавки

Если дефект распространяется на большую глубину и длину – крестовину надо заменить.

### 3.2.2. Технические требования к наплавки крестовин в полевых условиях

Наплавку крестовин в пути можно выполнять при минусовой и плюсовой температуре воздуха.

Наплавку изношенного сердечника разрешено выполнять до сечения 60 мм, а усювиков от математического центра острой крестовины (МЦХ) или математического центра тупой крестовины (МЦХК) в сторону заднего стыка по всей длине износа и в сторону горла крестовины на длину 250 мм. Для крестовин марки 1/18 разрешено наплавлять усювики в сторону горла на длину 350 мм от МЦХ.

Наплавкк крестовин нужно выполнять электродами марки ЦНИИН-4 согласно ГОСТ10051 диаметром 4 мм или порошковой проволокой марки ПП-Нп-90 Г13Н4 (ПП-АН-105) по ГОСТ 26101 диаметром 3 мм.

Допускается использование электродов фирмы ESAB (Швеция) марки ОК 86.28 по ГОСТ 9466 диаметром 4 мм.

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

0053.206517.ДР.2021.001

Лист

35

Электроды: постоянный ток 120-140 А обратной полярности (плюс на электроде), короткая дуга, напряжение 23 В или переменный ток 130-150 А, напряжение 24В.

Во время наплавки необходимо использовать полуавтомат, который соответствует требованиям 1 и 2 ГОСТ 18130.

Запрещено подбирать режимы наплавки и испытать электроды непосредственно на крестовине, разрешено выполнять это на отдельной металлической заготовке.

Электроды и порошковая проволока необходимо хранить в сухом отапливаемом помещении. Видовложения электроды или проволока должны быть выдержаны при температуре 200–300 °С в течение одного часа.

Наплавка крестовин происходит по дежурно: усовик-сердечник-усовик и слоями. Схема чередованием валиков металла наплавки крестовины приведена на рис. 3.4.

Первый и второй валики первого слоя нужно наплавлять на левом и правом усовика от места против сечения сердечника 35 мм, третий – на сердечнике в сечении 40 мм. Направление наплавки – в сторону математического острие. Далее порядок наплавки валиков нужно продолжать в той же последовательности. Окончание каждого валика должно быть началом следующего.

Наплавки второго слоя рекомендуется выполнять в направлении противоположном первого. После наплавки двух слоев на сердечнике в сечении от 12 мм до 40 мм необходимо продолжать наплавки от сечения 40 мм до сечения 60 мм.

Наплавку тупых крестовин перекрестного стрелочного перевода и глухого пересечения необходимо выполнять поочередно. Сначала обновляется износ одной крестовин, затем – второй.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		36

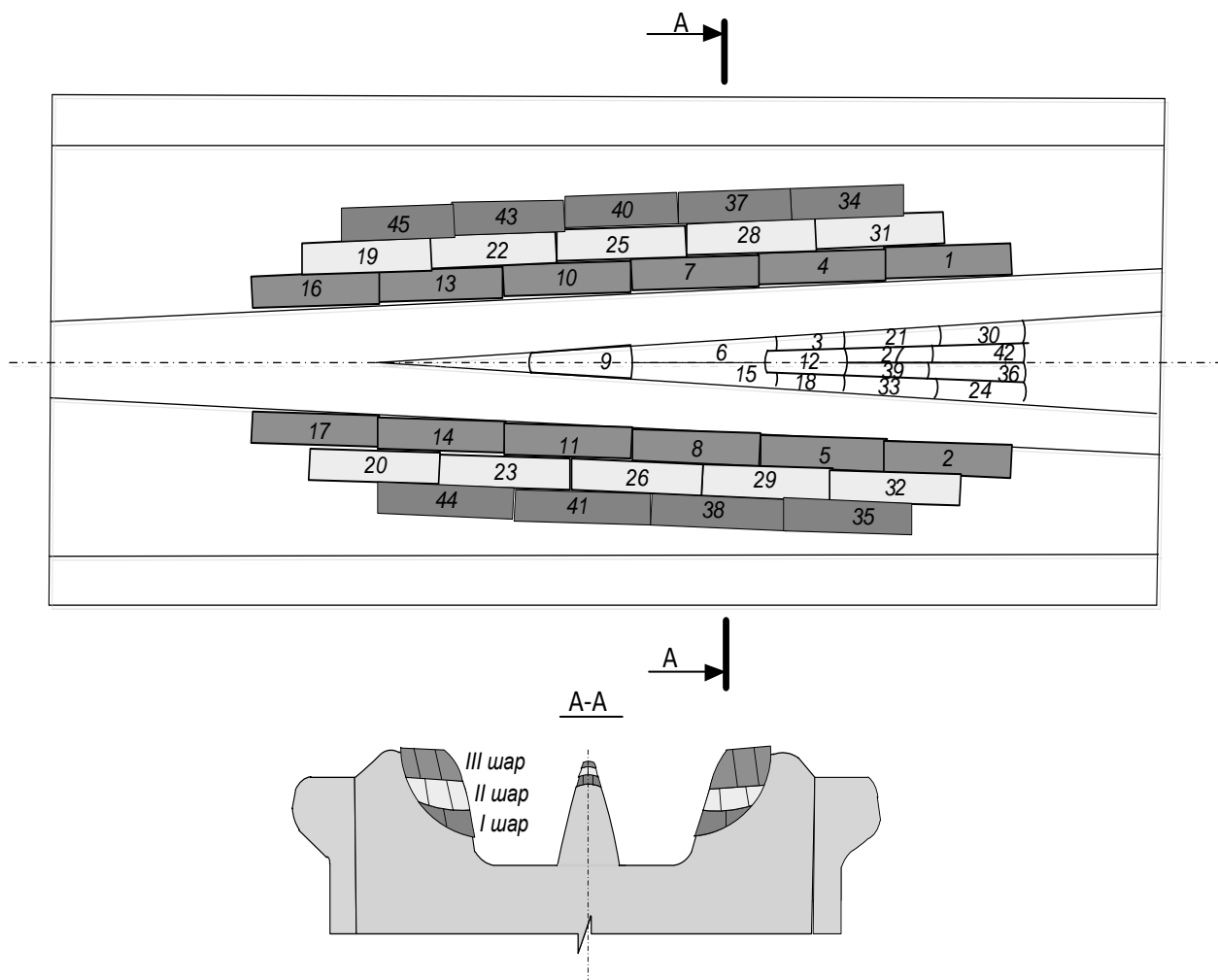


Рисунок 3.4 – Схема чередования валиков наплавленного металла на крестовине

Наплавку первого и последующих слоев металла на сердечнике и усовика должно проводиться с последовательным чередованием валиков, как показано на рис. 3.5.

Первый валик необходимо наплавлять на одной из менее изношенных частей усовика УС 1 против сечения сердечника 12–20 мм, второй – на сердечнике С1, который имеет большой износ, в сечении 12-20 мм. Третий валик необходимо наплавлять на более изношенную часть второго усовика (УС 2) против сечения сердечника 12-20 мм, четвертый – на менее изношенную сердечнике С2 в том же сечении. Далее порядок наплавления должен храниться в той же последовательности.

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

0053.206517.ДР.2021.001

Лист

37

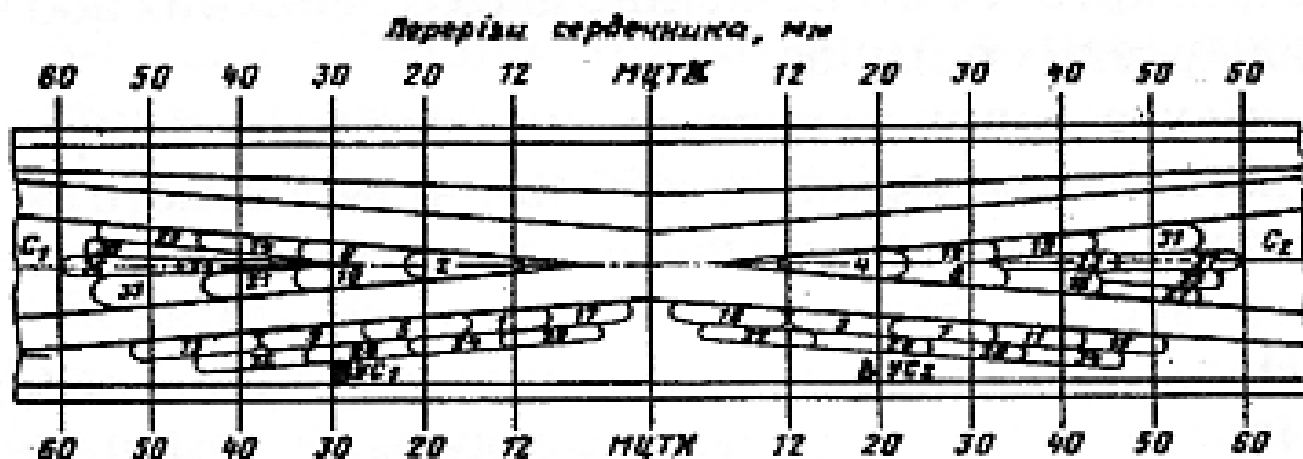


Рисунок 3.5 – Схема расположения валиков наплавленного металла при ремонте тупых крестовин (1-38 – слой наплавки)

Если некоторые элементы (например усовика ВУС1 и сердечник С2) не нуждаются в обновлении, то наплавки необходимо проводить только наиболее изношенных частей крестовины (С1 и УС2), расположенных по диагонали. Тогда первый валик необходимо наплавлять на усовика УС2 (№ 3), затем на сердечнику С1 (№ 2). Далее необходимо продолжать в той же последовательности – 7, 6, 11, 10, 15, 14 и т.д. (рис. 3.5).

Направление наплавки первого слоя – в сторону хвостовой части крестовины. Наплавка второго и последующих шаров должна выполняться в направлении противоположном попередньому слою. Окончание каждого валика должно быть началом следующего.

Во время наплавки первого и второго слоев металла на острых или тупых крестовинах длина наплавленных валиков должна быть 90-100 мм, ширина – 12-15 мм, высота – 2,5-3,0 мм.

### 3.2.3. Требования к крестовинам, отремонтированных наплавкой

Наплавленные крестовины по поверхности катания и рабочим граням должны быть зашлифованные абразивным инструментом. После обработки поверхностей сердечника и усовиков крестовина должна иметь окресления и

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

профиль согласно данным табл. II и рис. 3.6 и рис. 3.7 для острых крестовин, рис. 3.8 – для тупых крестовин.

Таблица II

Тип и марка крестовины	Размер от проектного уровня катания к поверхности катания ведро-монтированной крестовины после наплавки, мм							
	сердечника в пепереризах				усовиков			
	12 мм	20 мм	30 мм	от 40 до 60 мм	против МЦХ (для острых крестовин)	от МЦТХ к месту против сечения сердечника 50 мм (для тупой крестовины)	против сечения сердечника (для острых крестовин)	
							12 мм	20 мм
Острые крестовины всех типов и	4+A	A	A	A	3-A	-	4-A	5-A
тупые крестовины Р65 і Р50 1/9, 2/11, 2/9, 2/6	10+A	4+A	1+A	A	-	от 0 до А	-	-

**Примечания к табл. II:** 1. А – знос сердечника в сечении 60 мм. 2. Отвод усовика от места против сечения сердечника 20 мм в сторону хвостовой части и в сторону горловины должно быть выполнено плавно, в уровень с основным металлом. 3. Поперечный уклон усовиков и сердечника – 1:20.

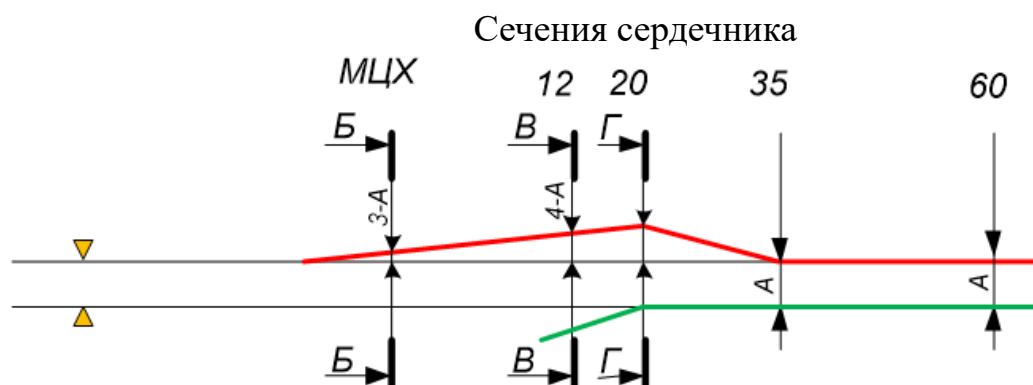


Рисунок 3.6 - Продольный профиль наплавленных острых сборных крестовин после обработки: А – величина равномерного износа в сечении сердечника 60 мм; ▼ – база измерения по верху головки рельсовых усовиков; ▲ – уровень равномерного износа

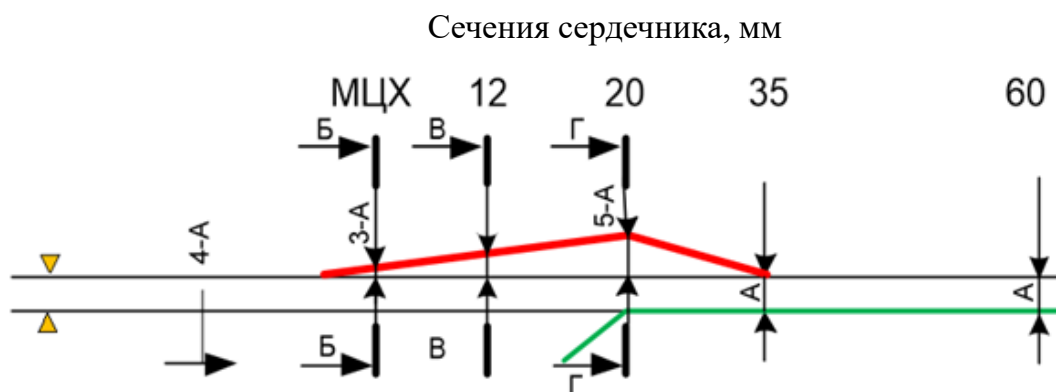


Рисунок 3.7 – Продольное и поперечное сечения наплавленных острых цельнолитые крестовин типа Р65 марок 1/11 и 1/18 после обработки: А – величина равномерного износа в сечении сердечника 60 мм; ▽ – база измерения на уровне технологической площадки крестовины; ▲ – уровень равномерного износа (размер в скобках – для крестовины 1/18)

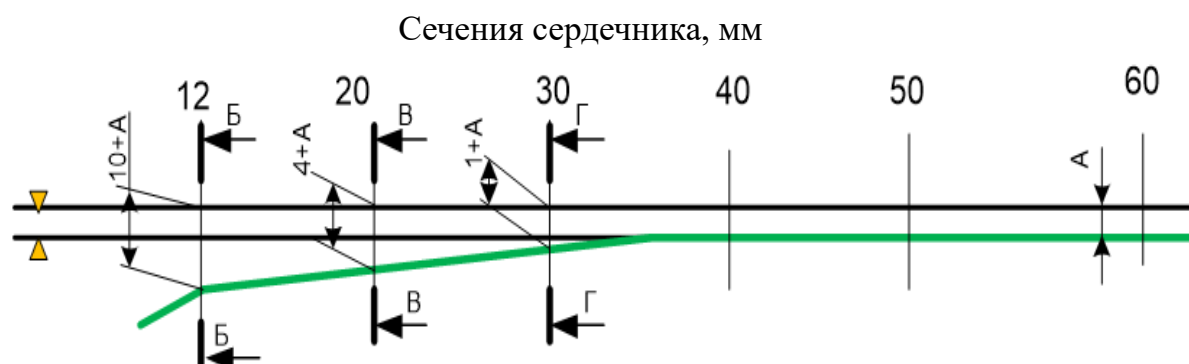


Рисунок 3.8 – Продольное и поперечное сечения наплавленных тупых крестовин всех типов двойных перекрестных стрелочных переводов марки 1/9 и глухих переводов марок 2/11, 2/9 и 2/6 после обработки: А – величина равномерного износа в сечении сердечника 60 мм; ▽ – база промера на уровне технологической площадки крестовины; ▲ – уровень равномерного износа

На отремонтированной крестовине, которая эксплуатируется на главных путях местные неровности не должны превышать 0,5 мм по глубине на длине 1 м, в других путях – не более 1 мм.

Все наплывы металла на рабочих гранях сердечника и вусовиков должны быть удалены.

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

Рабочие грани сердечника должны быть закруглены: в острых крестовин от сечения 12 до 30 мм – радиусом от 3 мм до 8 мм; по сечению сердечника 40 мм – радиусом от 10 мм до 15 мм. Между сечениями 30 мм и 40 мм необходимо сделать плавный переход от радиуса 3-8 мм до радиуса 10-15 мм; в тупых крестовин всех типов от сечения 12 мм до 30 мм – радиусом 5 мм, далее с плавным переходом к радиусу 15 мм до сечения 50 мм. Этот же радиус закругления на сердечнике продолжается до стыка крестовины.

Рабочие грани усовиков необходимо закруглить радиусом от 3 мм до 5 мм.

После пропуска от 3 млн.т до 5 млн.т брутто груза, а затем по мере образования наплыва металла на рабочих гранях усовиков и сердечника надо сошлифовывать их.

### 3.3. Совершенствование продольного профиля крестовин стрелочных переводов в соответствии с требованиями EN 13232-1

С проведенного анализа научно-исследовательских работ установлено, что одним из методов повышения долговечности крестовин стрелочных переводов есть метод наплавки.

В магистерской работе предлагается выполнить наплавку сердечника и усовиков крестовины с изменением их продольного и поперчного профилей. Геометрические схемы которого приведены на рис. 3.9.

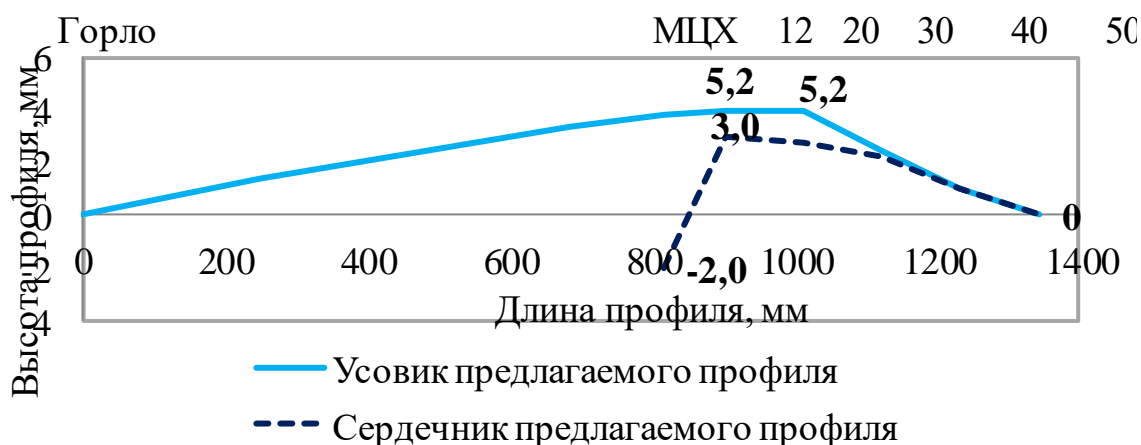


Рисунок 3.9 – Предложенный продольный профиль крестовин после наплавки

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

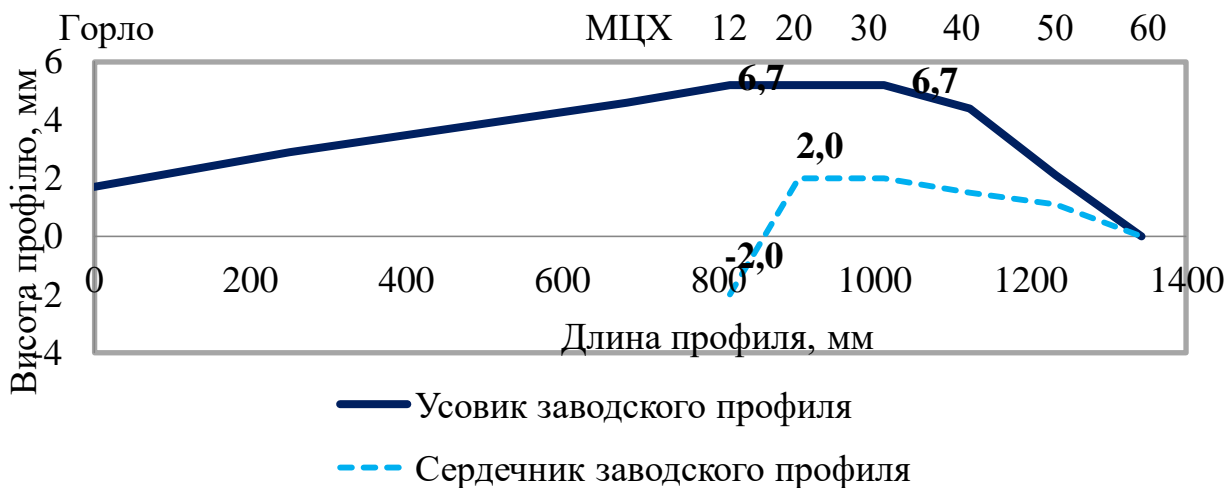


Рисунок 3.10 – Продольный профиль острой крестовины марки 1/11 (ГОСТ 28370-89)

При этом наплавку следует проводить в соответствии с нормами [53-55].

Предложенный после оптимизации продольный профиль крестовины (рис.3.10) после наплавки имеет повышение усювиков в сечении сердечника крестовины 12 мм и до 35 мм +5,4 мм, против 6,7 мм как в типовго профиля (рис. 3.9), и поднятие сердечника до 3 мм, на 2 мм как в типовго профиля.

Далее приведем методику определения траектории движения колеса по крестовине с учетом продольного профиля.

### Выводы к разделу 3

На основе проведенного анализа методов выполнения наплавки крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации можно сделать следующие выводы:

1. Для эффективного ремонта крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации необходимо тщательно подготовить крестовину к наплавки, выполняя шлифовку поверхностей сердечника и усювиков.
2. Европейский и Украинский опыт наплавки крестовин стрелочных переводов предусматривает выполнение послойной наплавки крестовин валиками определенной длины и высоты отдельно сердечника и усювиков.

3. Одним из методов повышения долговечности крестовин стрелочных переводов является совершенствование продольного профиля крестовин.

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		43

## РАЗДЕЛ 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРЕСТОВИНЫ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ В СООТВЕТСТВИИ С EN 13232-1

#### 4.1. Методика определения траектории движения колеса по крестовинам стрелочных переводов

В настоящее время есть два основных метода определения траектории движения центра масс колеса по крестовине стрелочного перевода. Это графический и аналитический.

В магистерской работе использован аналитический метод расчета траектории перекатывание колеса по крестовине. Приведенный в научно-исследовательских работах [1, 2].

Определение траектории перекатывание колеса по крестовине сводится до определения зависимости функции  $y(x)$  [1-2]. Данная зависимость имеет вид

$$y(x) = f \{ \Pi(x), W(x), \delta \}, \quad (4.1)$$

где  $y(x)$  – траектория перекатывание колеса по крестовине в вертикальной плоскости;  $\Pi(x)$  – продольный профиль крестовины;  $W(x)$  – поперечной профиль бандажа колеса подвижного состава;  $\delta$  – величина зазора между рабочими гранями колеса и рабочими гранями усовика (сердечника).

Значение ординат продольного профиля крестовины было принято соответственно в МЦХ, пересечении сердечника 12, 20, 33, 35, 40, 50 и 60 мм. Эти значения приведены на рис. 3.9 и рис. 3.10.

Учитывая, то что усовик крестовины идет под определенным углом (имеет отгиб) от сердечника крестовины (рис. 4.1), то в этой методике влияние величины отгиба усовиков на траекторию движения колеса по крестовине учтено с помощью соответствующих функций:

$$z(x) = 0,067x \text{ при } 0 < x < 683, \quad (4.2)$$

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		44

$$z(x) = 45 + 0,0909x \text{ при } 683 < x < 1068. \quad (4.3)$$

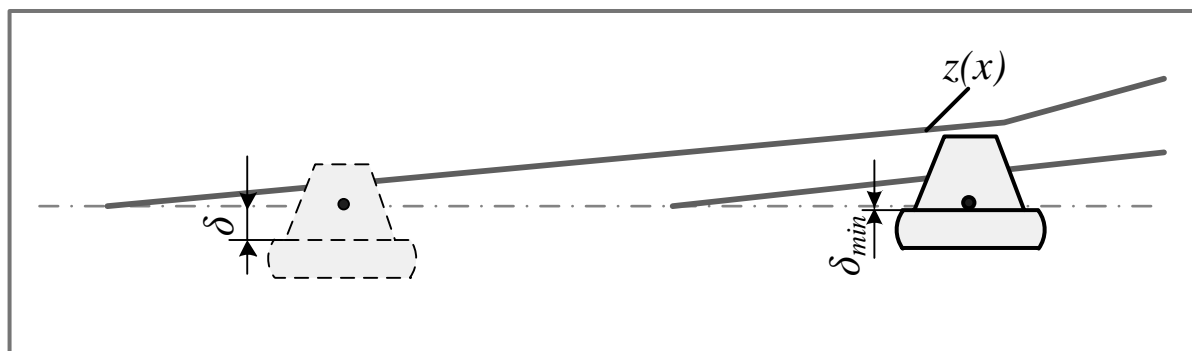


Рисунок 4.1 – Схема к определению влияния зазора и отгиба усовика на траекторию движения колеса по крестовине

Важную роль на траекторию перекачивания колеса по рельсу играет также поперечный профиль бандажа колеса. Его принимаем в виде функции  $W(x)$ .

Расчетные точки для определения траектории перекачивания колеса по крестовине в зависимости от поперечного его расположение на крестовине приведены на рис. 4.2.

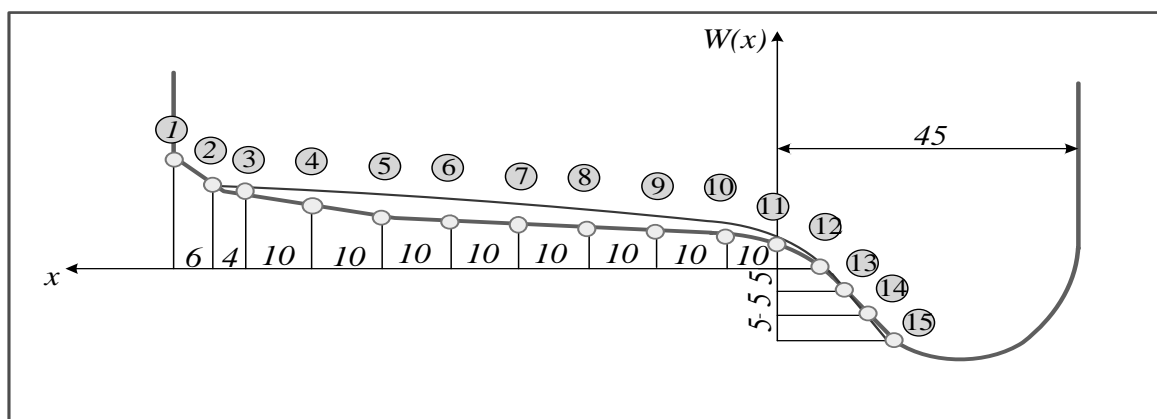


Рисунок 4.2 – Расчетные точки для определения поперечного расположения колеса подвижного состава на крестовине

Согласно работы [27] установлено среднестатистическое значения величины проката колеса, которое в расчетах было принято равным  $W = 0,83$  мм.

Окончательный вид формул для аналитического расчета траектории движения колеса по крестовине имеет вид:

$$z(x) = \pi_B(x) - W \{ y(x) + \delta \} \text{ при } x < x', \quad (4.4)$$

ИЗ	Лист	№ докум	Подпись	Дата
----	------	---------	---------	------

$$z(x) = \pi_c(x) - W\{\delta\} \text{ при } x > x', \quad (4.5)$$

где  $x'$  – абсцисса точки перехода колеса с усовика на сердечник.

#### 4.1.1. Траектории движения колеса по усовершенствованном продольном профиле крестовины

По приведенному алгоритму было получено траектории движения колеса по заводскому профилю крестовины марки 1/11 (рис. 4.3) и усовершенствованном продольному профилю крестовины (рис. 4.4).

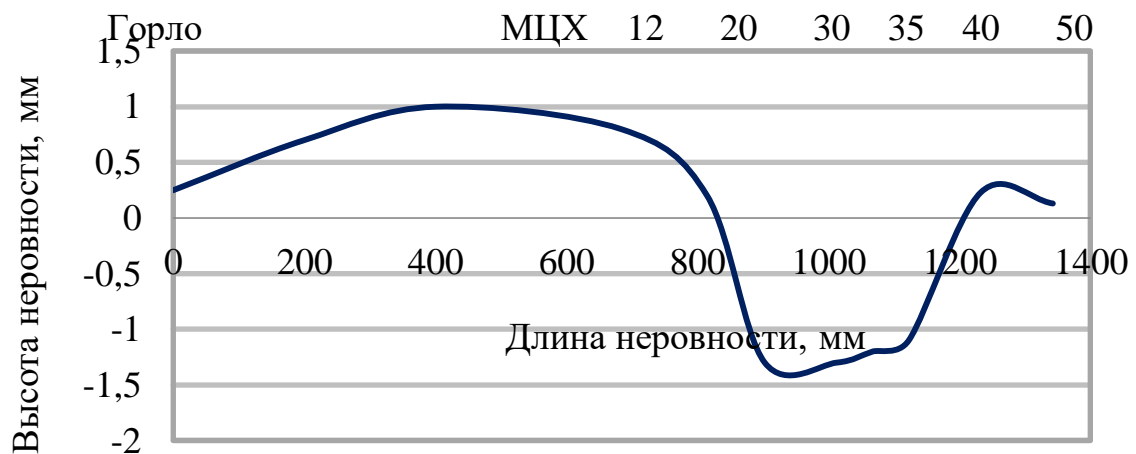


Рисунок 4.3 – Траектория движения центра масс колеса по заводскому продольному профилю крестовины

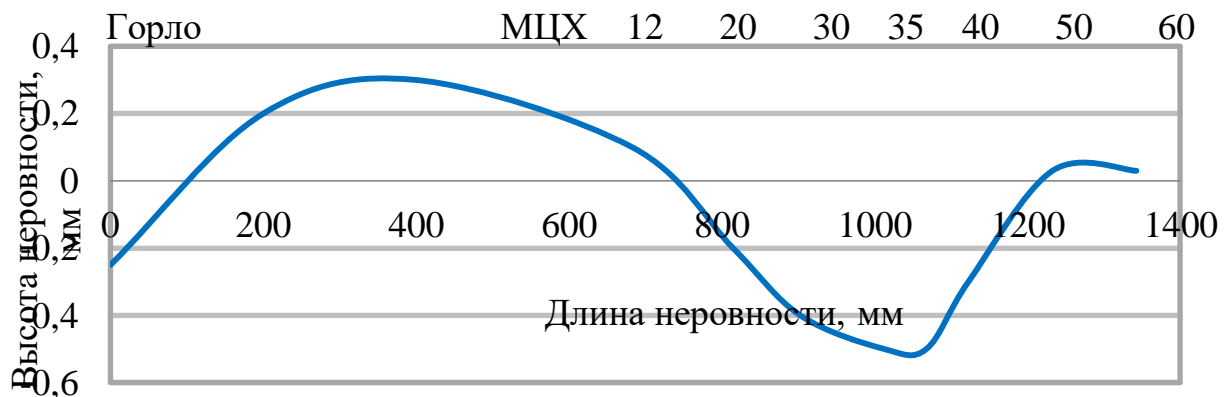


Рисунок 4.4 – Траектория движения центра масс колеса по усовершенствованному продольному профилю крестовины

Анализируя данные траектории видим, что у заводского профиля глубина впадины колеса в месте поперечного сечения сердечника 35 мм составляет 1,4мм, а в предложенного 0,5 мм.

Заводской профиль характеризуется высоким подъемом колеса по усовику и дальше колесо при переходе с усовика на сердечник впадает в неравенство глубиной 1,4 мм. В предложенного профиля подъем колеса по усовику имеет значительно меньшую величину.

Далее по полученным траекториями движения колеса по хрестовине будем определять динамическую добавку сил и соответственно судить о долговечности крестовин стрелочных переводов.

#### 4.2. Модель для оценки динамического взаимодействия крестовин и подвижного состава

Для определения динамического взаимодействия подвижного состава и крестовин стрелочного перевода была использована двухмассовая модель взаимодействия «крестовина-колесо» [1, 2]. Расчетная схема динамического взаимодействия приведена на рис. 4.5.

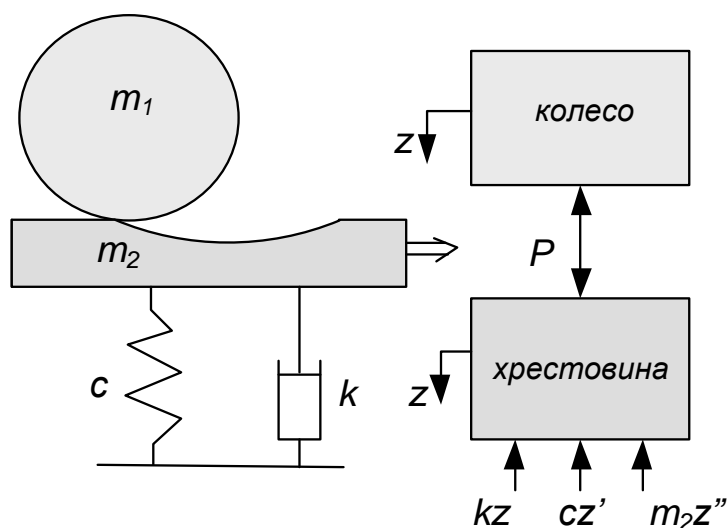


Рисунок 4.5 – Схема динамического взаимодействия «крестовина-колесо»

Основное уравнение динамического взаимодействия системы колесо-крестовина имеет вид:

$$(m_k + m_x) \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = -P \quad (4.6)$$

Сила, которая входит в это уравнение может быть определена из-за перемещения масс  $m_1$ ,  $m_2$  соответственно колеса и крестовины, жесткость основы крестовины и сопротивление перемещению по формуле:

$$P = c \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + kz + m_k \frac{\partial^2 \eta_x}{\partial t^2} \quad (4.7)$$

Подставляя (4.7) в (4.6) получим дифференциальное уравнение движения масс  $m_k$  и  $m_x$  в виде формулы:

$$(m_k + m_x) \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + c \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + kz + m_k \frac{\partial^2 \eta_x}{\partial t^2} = 0 \quad (4.8)$$

где  $m_k$  – масса колеса;  $m_x$  – масса пути;  $c$  та  $k$  – соответственно жесткость и коэффициент вязкого трения основы крестовины;  $\frac{\partial^2 \eta_x}{\partial t^2}$  – неровность на крестовине, которая выступает в качестве возбуждающего фактора в расчетной схеме.

Неравенство было задано то, что получено при определении траектории движения колеса по крестовине стрелочного переводов в предыдущем разделе магистерской работы. Неровность на крестовине задавалась в программе кубическим сплайном. При этом вводились характерные абсциссы неравенства (горло, МЦХ, сечения 12 мм, 20 мм, 30 мм, 35 мм, 40 мм, 50 мм, 60 мм) соответственно им задавались ординаты.

Ординаты определяли с геометрической неровности, образующийся при перекачивании колеса по крестовине.

Масса колеса пассажирского вагона с тележки типа КВЗ-ЦНИИ согласно [28] составляет 850 кг, тогда приведена масса пути будет равна 1258 кг. Масса колеса грузового вагона с тележками типа ЦНИИ-Х3-0 равна 975 кг, приведена масса пути будет равна 1443 кг. Масса колеса электровоза ВЛ23 равна 3170 кг, соответственно приведенная масса пути составляет – 4691,6 кг. В расчетах.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48

жесткость основы крестовины принято равным  $k = 1.47 \cdot 10^5$  кН/м, а коэффициент вязкого трения основы крестовины –  $c = 127,5$  кН · с/м.

Величины динамического взаимодействия крестовины и колеса получено с развязку дифференциального уравнения (4.8) с программы Matlab 2011.

#### 4.2.1. Исследование величин динамических сил при взаимодействии крестовины и колеса подвижного состава

Результаты расчета динамических сил, возникающих при взаимодействии колеса с заводским профилем крестовины и предложенным приведены на рис.4.6- 4.8.

На рис. 4.6 приведено сравнение величин динамического взаимодействия крестовины и локомотива 2М62.

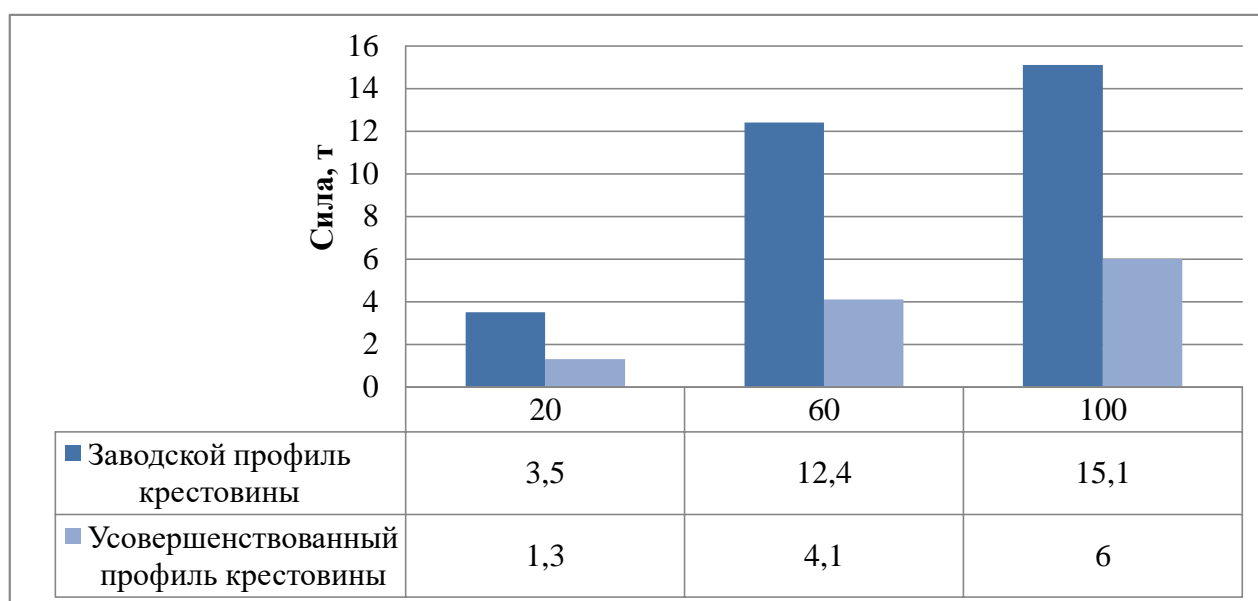


Рисунок 4.6 – Динамическая добавка сил в крестовине при проезде локомотива 2М62

При скорости локомотива 2М62 равной 20 км/ч величина динамических сил в заводском профиля составляет 3,5 т, а в предложенного 1,3 т; при скорости 60км/ч – 12,4 т и 4,1 т соответственно и при скорости локомотива 2М62 равной 100 км/ч величина сил динамического взаимодействия составляет 15,1 т и 6,0 т соответственно у заводского профиля и запропонованого.

Результаты динамического взаимодействия крестовины и колеса при проезде скоростного пассажирского поезда приведены на рис. 4.7.

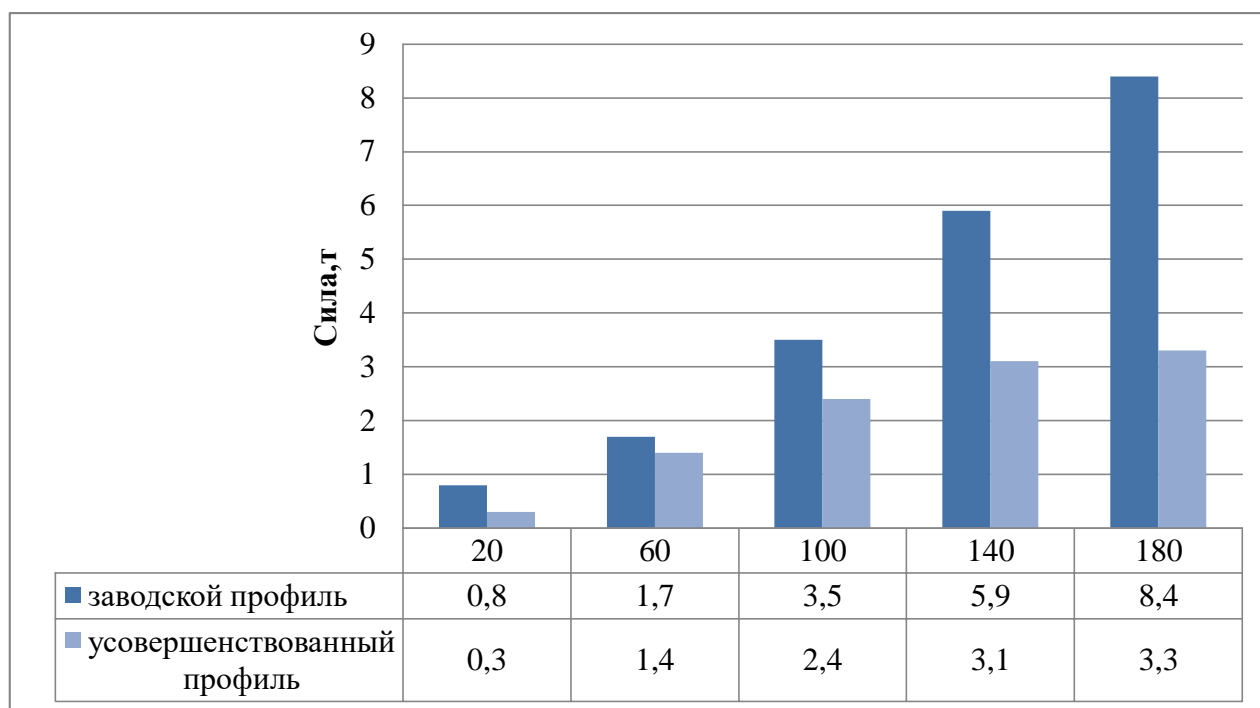


Рисунок 4.7 – Динамическая добавка сил в крестовине при проезде скоростного пассажирского поезда

При скорости пассажирского поезда 20 км/ч величина динамических сил в заводского профиля составляет 0,8 т, а в предложенного 0,3 т; при скорости 60км/ч – 1,7 т и 1,4 т соответственно; при скорости 100 км/ч величина сил динамического взаимодействия составляет 3,5 т и 2,4 т соответственно; при скорости 140 км/ч – 5,9 т и 3,1 т и при скорости поезда 180 км/ч – 8,4 т и 3,3 т.

Результаты динамического взаимодействия крестовины и колеса при проезде грузового поезда приведены на рис. 4.8.

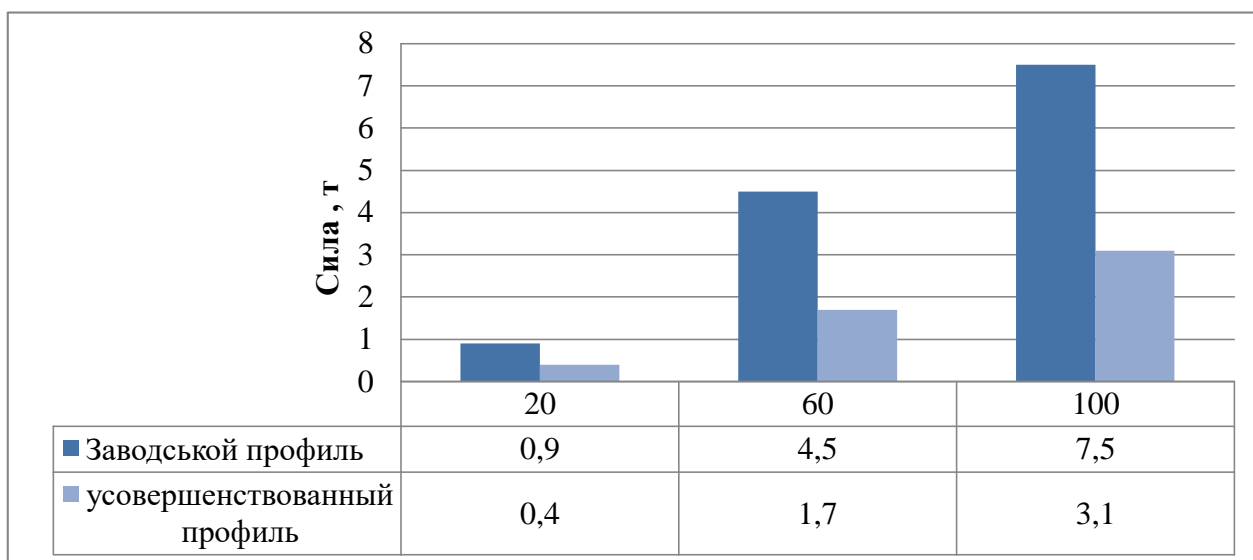


Рисунок 4.8 – Динамическая добавка сил в крестовине при проезде грузового поезда

При скорости грузового поезда 20 км/ч величина динамических сил в заводского профиля составляет 0,9 т, а в предложенного 0,4 т; при скорости 60км/ч – 4,5 т и 1,7 т соответственно и при скорости поезду 100 км/ч величина сил динамического взаимодействия составляет 7,5 т и 3,1 т соответственно у заводского профиля и запропнованого.

Из проведенных исследований установлено, что величина динамических сил, возникающих в контакте колеса и крестовины при проезде скоростного пассажирского поезда, грузового и локомотива у среднем на 2,5 раза меньше, чем у заводского профиля крестовины.

#### 4.3. Рекомендации по повышению долговечности крестовин стрелочных переводов в соответствии с EN 13232-1

Исследованиями динамического взаимодействия крестовины и подвижного состава установлено, что основным фактором, влияющим на долговечность крестовин стрелочных переводов в эксплуатации является величина геометрической неровности, которая образуется за счет перекатывания колеса с усовиков на сердечник и наоборот. Она напрямую зависит от продольного профиля усовиков и сердечника крестовины.

Рекомендуется продольный профиль крестовины при проведении наплавки выполнять следующим: повышение усювиков в сечении сердечника крестовины 12 мм и до 35 мм должно составлять +5,2 мм, против 6,7 мм как в типовго профиля, а повышение сердечника должно составлять 3 мм, против 2 мм как в типовго профиля.

Исследованиями доказано, что при рекомендованных значениях продольного профиля долговечность крестовины будет увеличен в 2,5 раза по сравнению с заводским профилем. Это практический результат, который получен в магистерской работе.

#### **Выводы по главе 4**

На основе проведенных исследований динамического взаимодействия крестовин с подвижным составом железнодорожного транспорта можно сделать следующие выводы:

1. Продольный профиль крестовин имеет значительное влияние на увеличение динамического взаимодействия крестовин стрелочного перевода с подвижным составом.

2. Установлено, что величина динамических сил, возникающих в контакте колеса и крестовины при проезде скоростного пассажирского поезда, грузового поезда и локомотива 2М62 у 2,5 раза меньше, чем у заводского профиля крестовины.

3. Долговечность крестовин в условиях эксплуатации можно повысить методом выполнения наплавки крестовин с одновременной оптимизацией продольного профиля крестовины до значений: повышение усювиков в сечении сердечника крестовины 12 мм и до 35 мм должно составлять +5,2 мм, против 6,7мм как в типовго профиля, а повышение сердечника должно составлять 3 мм, на 2 мм как в типовго профиля.

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		52

## ВЫВОДЫ

Из проведенного анализа нормативных требований к долговечности крестовин стрелочных переводов, предложенного продольного профиля крестовин и проведенных исследований динамического взаимодействия крестовин и подвижного состава в магистерской работе получены следующие выводы:

1. Одним из главных конструктивных параметров, который влияет на долговечность крестовин стрелочных переводов в условиях эксплуатации является продольный и поперечный профили крестовины.

2. Долговечность и безотказная работа крестовины определяется величиной динамического взаимодействия ее с подвижным составом железной дороги.

3. Одним из методов повышения долговечности крестовин является оптимизация продольного профиля крестовины под размеры, которые обеспечат наибольшую площадь контакта колеса и поверхности крестовины.

4. Автоматизированная наплавка крестовин позволит повысить долговечность крестовин в эксплуатации и уменьшить расходы средств путевого хозяйства железной дороги на инфраструктуру. Европейский и Украинский опыт наплавки крестовин стрелочных переводов предусматривает выполнение послойной наплавки крестовин валиками определенной длины и высоты отдельно сердечника и усювиков.

5. Установлено, что величина динамических сил, возникающих в контакте колеса и крестовины при проезде скоростного пассажирского поезда, грузового поезда и локомотива 2М62 у 2,5 раза меньше, чем у заводского профиля крестовины.

6. Долговечность крестовин в условиях эксплуатации можно повысить методом выполнения наплавки крестовин с одновременной оптимизацией продольного профиля крестовины до значений: повышение усювиков в сечении сердечника крестовины 12 мм и до 35 мм должно составлять +5,2 мм, против 6,7

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		53

мм как в типовго профиля, а повышение сердечника должно составлять 3 мм, на  
2 мм как в типовго профиля.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		54

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kovalchuk V. Evaluation of the stressed-strained state of crossings of the 1/11 type turnouts by the finite element method / V. Kovalchuk, Ya. Bolzhelarskyi, B. Parneta, A. Pentsak, O. Petrenko, I. Mudryy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov.: 4/7 (88), 2017. – pp. 10–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.107024.

2. Kovalchuk V. Theoretical study into efficiency of the improved longitudinal profile of frogs at railroad switches / V. Kovalchuk, M. Sysyn, Ju. Sobolevska, O. Nabochenko, B. Parneta, A. Pentsak // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov.: 4/1 (94), 2018. – pp. 27–36. doi: 10.15587/1729-4061.2018.139502.

3. Директива ЄС (ЄС) 2016/797 Європейського Парламенту та Ради від 11 травня 2016 року про сумісність залізничної системи в межах Європейського Союзу (Текст доречно з ЕЕЗ). *OJ L 138, 26.5.2016, p. 44-101 (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, HR, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV)*. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/797/oj>

4. Davis D. D. et al. Railway Track & Structures, 2003. – № 1. – p. 15 – 17.

5. ДСТУ 4344:2004

6 EN 13232-1, Railway applications — Track — Switches and crossings.

7. Татиевский А. М. Улучшение параметров и конструкции стрелочных переводов на основе изучения отечественной и зарубежной практики. / Путь и путевое хозяйство. – ЦНИИТЭ и МПС 1970, Вып. 55.

8. Липовский Р. С. Исследование работа, острых крестовин под подвижной нагрузкой. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. ДИИТ, 1956.

9. Даниленко Э. И. О выборе материала и правильном распределении его по сечениям цельнолитых крестовка / Вопросы взаимодействия подвижного состава о верхним строением пути и искусственными сооружениями. Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1977. – Вып. 196/19. – С. 55–61.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		55

10. Крысанов Л. Г. О профиле крестовин наплавленных в стационарных условиях / Л. Г. Крысанов, Б. Э. Глюзберг, В. Д. Кучеренко // Вестник ВНИИЖТа, 1974, №4, С. 35–41.

11. Балух Х. Метод оптимального конструирования пересечений / Железные дороги мир. – 1971. – №9. – С. 21–28.

12. Василевская М. М. Методы улучшения свойств стали Г13Л и возможности ее замены в железнодорожных крестовинах / Железнодорожный путь и транспортное строительство. – Свердловск, 1972.

13. Зоткин Г. В. Исследование износоустойчивости крестовин из высокомарганцовистой стали с добавкой хрома / Сборник статей по вопросам путевого хозяйства и прочности конструкций. – Харьков.: Труды ХИИТа, 1960. – Вып. 40. – С. 29–39.

14. Сазонов П. А. Как служат крестовины легированные никелем / П. А. Сазонов, Б. Я. Юфит, С. Ф. Карп, Н. С. Евсифеев, Д. П. Сливец, Г. В. Яшная, Н.В. Аптекарь // Путь и путевое хозяйство. – 1971. – 6. С. 10 – 11.

15. Крутиков А. М., Григорьев О. В. Новые крестовины / Путь и путевое хозяйство. – 1976. - №5. – С.42–43.

16. INNOTRACK report D4.3.4 «Calculation of contact stresses and wear». – 23 pp.

17. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование) / [Даниленко Э.И., Тараненко С.Д., Кутах А.П.]; под ред. д.т.н. профессора Э.И. Даниленко. – К.: – 2001. – 296 с.

18. ГОСТ 28370 – 89. Крестовины сборные марок 1/11 и 1/9 основные размеры. – 7 с.

19. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України /ЦП-0138. –К.: Транспорт України, 2006. – 314 с. - Затверджена наказом Укрзалізниці від 22.12.2005р. №427-Ц.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		56

20. Правила технічної експлуатації залізниць України. ЦРБ-0004. – К.: Транспорт України, 1995.

21. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України /ЦП-0138. –К.: Транспорт України, 2006. – 314 с. - Затверджена наказом Укрзалізниці від 22.12.2005р. №427-Ц.

22. Даниленко Э.И., Кутах А.П., Тараненко С.Д. Стрелочные переводы железных дорог Украины. К., "Киевский институт железнодорожного транспорта", 2001. – 296 с.

23. Kovalchuk V. Development of a promising system for diagnosing the frogs of railroad switches using the transverse profile measurement method / V. Kovalchuk, M. Sysyn, Yu. Hnativ, O. Bal, B. Parneta, A. Pentsak // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov.: 2/1 (92), 2018. – pp. 33–42. doi: 10.15587/1729-4061.2018.125699.

24. Наплавка и ремонт. Електронний ресурс: режим доступу: <http://nisa.net.ua/spip.php?rubrique165>.

25. Автоматическая установка для наплавки рельсов и крестовин RAILTRAC BV/BVR 1000. Електронний ресурс: режим доступу: <https://mir-svarki.ru/>

26. Автомат для наплавки крестовин ПУНАР-2.2. Електронний ресурс: режим доступу: <http://www.tehnap.ru/37-avtomat-dlya-naplavki-krestovin-punar-22.html>

27. Крысанов Л.Г. О влиянии жесткости основания на виброускорения крестовинных узлов стрелочных переводов / Л.Г. Крысанов, А.М. Тейтель // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – №4. – С.1 – 6.

28. ЦП-0117 - Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість, затверджені наказом Укрзалізниці від 13.12.2004 № 960-ЦЗ.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		57

## СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1.1 – Моноблочная крестовина проекта Дн345 в пути.

Рисунок 2.1 – Проекты продольного профиля крестовин стрелочных переводов [17].

Рисунок 2.2 – Схема измерений продольного профиля крестовин стрелочных переводов типа Р65 марок 1/11 и (1/9) на железобетонных брусках [19].

Рисунок 2.3 – Устройство Miniprof-Switch для измерения поперечного профиля крестовин стрелочных переводов [23].

Рисунок 2.4 – Система ESAH-M для диагностики сердечника крестовины [23].

Рисунок 2.5 – Система ESAH-F для диагностики сердечника крестовин [23].

Рисунок 2.6 – ESAB в работе при наплавке крестовины [24].

Рисунок 2.7 – Наплавка крестовин с использованием установки Railtrac BV 1000/BVR 1000 [25].

Рисунок 2.8 – Наплавка крестовин автоматом Пунар 2.2 в полевых условиях [26].

Рисунок 2.9 – Схема наплавки крестовин с использованием наплавочного комплекса TANSLAMATIC [25].

Рисунок 2.10 – Рекомендуемая схема наплавки тупых крестовин с использованием комплекса TRANSLAMATIC.

Рисунок 2.11 – Установка система Tanslamatic закреплена на крестовине.

Рисунок 3.1 – Методика наплавки крестовин на железных дорогах Европы V-образными валиками.

Рисунок 3.2 – Методика наплавке дефектных крестовин в Европе.

Рисунок 3.3 — Схема подготовки крестовины к наплавки.

Рисунок 3.4 – Схема чередования валиков наплавленного металла на крестовине.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		58

Рисунок 3.5 – Схема расположения валиков наплавленного металла при ремонте тупых крестовин (1-38 – слой наплавки).

Рисунок 3.6 – Продольный профиль наплавленных острых сборных крестовин после обработки: А - величина равномерного износа в сечении сердечника 60 мм; ▽ – база измерения по верху головки рельсовых усювиков; ▲ – уровень равномерного износа.

Рисунок 3.7 – Продольный и поперечный сечения наплавленных острых цельнолитые крестовин типа Р65 марок 1/11 и 1/18 после обработки: А - величина равномерного износа в сечении сердечника 60 мм; ▽ – база измерения на уровне технологической площадки крестовины; ▲ – уровень равномерного износа (размер в скобках – для крестовины 1/18).

Рисунок 3.8 – Продольный и поперечный сечения наплавленных тупых крестовин всех типов двойных перекрестных стрелочных переводов марки 1/9 и глухих переводов марок 2/11, 2/9 и 2/6 после обработки: А – величина равномерного износа в сечение сердечника 60 мм; ▽ – база промера на уровне технологической площадки крестовины; ▲ – уровень равномерного износа.

Рисунок 3.9 – Предложенный продольный профиль крестовин после наплавки.

Рисунок 3.10 – Продольный профиль острой крестовины марки 1/11 (ГОСТ 28370-89).

Рисунок 4.1 – Схема к определению влияния зазора и отгиба усювика на траекторию движения колеса по крестовине.

Рисунок 4.2 – Расчетные точки для определения поперечного расположения колеса подвижного состава на крестовине.

Рисунок 4.3 – Траектория движения центра масс колеса по заводскому продольному профилю крестовины.

Рисунок 4.4 – Траектория движения центра масс колеса по усовершенствованному продольному профилю крестовины.

Рисунок 4.5 – Схема динамического взаимодействия «крестовина-колесо»

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		59

Рисунок 4.6 – Динамическая добавка сил в крестовине при проезде локомотива 2М62.

Рисунок 4.7 – Динамическая добавка сил в крестовине при проезде скоростного пассажирского поезда.

Рисунок 4.8 – Динамическая добавка сил в крестовине при проезде грузового поезда.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		60

## СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица I. Нормы при наплавке крестовин стрелочных переводов, действующие на железных дорогах Украины

Таблица II.

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		61

## АННОТАЦИЯ И КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Дипломная магистерская работа состоит из 4 разделов и общих выводов. Работа включает 30 рисунков, 2 таблицы. Общий объем дипломного проекта 63 страницы. Количество использованных литературных источников – 28.

В магистерской работе проанализированы требования нормативных документов Украины и Европейского Союза в крестовин стрелочных переводов железных дорог.

Приведены передовые методы повышения долговечности крестовин стрелочных переводов с использованием методов наплавки крестовин.

Предложено геометрическую схему усовершенствованного продольного профиля крестовины, получаемый при выполнении наплавки крестовин.

Проведены расчеты сил динамического взаимодействия крестовины с подвижным составом железных дорог с учетом траектории перекатывания колес подвижного состава по заводскому профилю крестовин и усовершенствованном профилю крестовин.

Установлено, что величина динамических сил, возникающих в контакте колеса и крестовины у 2,5 раза меньше, чем у заводского профиля крестовины.

**Ключевые слова:** стрелочный перевод, крестовина, наплавка, динамические силы, продольный профиль, траектория перекатывание колеса.

## ABSTRACT AND KEYWORDS

Degree Master's work consists of four chapters and overall conclusions. The work includes 30 figures, 2 tables. The total amount of the degree project 63 pages. The amount of used literature sources – 28.

The master's thesis analyzes the requirements of regulatory documents of Ukraine and the European Union to the crossroads of railway crossings.

The advanced methods of increasing the durability of crossings of turnouts with the use of methods of surfacing of crosspieces are given.

The geometrical scheme of the improved longitudinal profile of a crosspiece

					0053.206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		62

which is received during performance of surfacing of crosspieces is offered.

Calculations of the forces of dynamic interaction of the crosspiece with the rolling stock of the railways, taking into account the trajectory of rolling wheels of the rolling stock on the factory profile of the crosspieces and the improved profile of the crosspieces.

It is established that the magnitude of the dynamic forces that occur in the contact of the wheel and the cross is 2.5 times smaller than the factory profile of the cross.

**Keywords:** turnout, crosspiece, surfacing, dynamic forces, longitudinal profile, wheel rolling trajectory.

					0053. 206517.ДР.2021.001	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата		63