

УДК 625.03

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-2-109-120

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ

*Владимир Васильевич Щербаков*

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной геодезии, тел. (913)912-86-91, e-mail: vvs@stu.ru

Статья посвящена разработке системы технологического контроля рельсосварочного производства (СТК-РП), позволяющего выполнять измерение длины рельсовых плетей в соответствии с ТУ-2000\*. Определение расстояний и геометрических параметров криволинейных объектов и поверхностей, включая рельсовую плеть, является актуальной задачей, так как если длина рельсовой плети не соответствует проектной для укладки в указанных границах участка ремонта или реконструкции, необходимо использовать дорогостоящее оборудование для сварки и резки плети в полевых условиях, а при работе в «окно» с ограничением времени, данные процессы негативно влияют как на срок сдачи объекта, так и на качество ремонта железных дорог. В работе приведены примеры реализации данного способа для измерения расстояний, что требовало, как показали исследования, решения принципиальных задач при создании конструкции прибора и методики измерений.

**Ключевые слова:** рельсовые плети, бесстыковой путь, система технологического контроля рельсосварочного производства (СТК-РП), железнодорожный курвиметр.

### *Введение*

Современные железные дороги переходят на строительство и эксплуатацию бесстыкового пути, имеющего существенные преимущества по отношению к звеньевому, главное из которых – повышение плавности и комфортабельности движения поездов. К техническим преимуществам бесстыкового пути можно отнести также улучшение показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава, увеличение межремонтных сроков, уменьшение расходов на тягу поездов, повышение надежности пути. На российских железных дорогах эксплуатируется температурно-напряженная конструкция бесстыкового пути. Основное отличие работы бесстыкового пути от обычного звеньевого состоит в том, что в рельсовых плетях действуют значительные продольные усилия, вызываемые изменениями температуры. При повышении температуры рельсовых плетей (основа бесстыкового пути) по сравнению с температурой их закрепления возникают продольные силы сжатия, которые могут создавать опасность выброса пути. Поэтому одной из основных задач при изготовлении рельсовых плетей для строительства бесстыкового пути является

---

\* Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утвержденные МПС РФ от 31.03.2000.

обеспечение высокой точности (1/10 000) измерения их длины и температуры для расчета оптимальной длины закрепления рельсовой плети на участке строительства (ремонта). Измерение длины рельсовых плетей – одна из актуальных задач для рельсосварочных предприятий (РСП), на которых изготавливаются рельсовые плети для строительства бесстыкового пути, а также предприятий, выполняющих обслуживание и содержание бесстыкового пути на железных дорогах [1]. Кроме того, укладка бесстыкового пути при новом строительстве и ремонте железнодорожного пути производится в строгом соответствии с проектом, в котором указаны границы (линейные координаты) укладки бесстыкового пути, длины плетей и температура их закрепления. Работы выполняются в соответствии с нормативными требованиями ТУ-2000. От точности формирования длины рельсовой плети на заводе-изготовителе зависит необходимость полевой резки плети. Полевая резка выполняется в тех случаях, когда длина плети не соответствует проектным размерам. Длина рельсовой плети при ее сварке не должна отличаться от проектной, при этом относительная погрешность не должна превышать 1/10 000, погрешность измерения температуры при ее измерении 0,1 °С.

### *Анализ методов измерения длины рельсовой плети*

Обеспечение высокой точности измерения рельсовой плети связано с тем, что при длине рельсовой плети, не соответствующей проектной (для укладки в указанных границах участка ремонта или реконструкции), необходимо использовать дорогостоящее оборудование для сварки и резки плети в полевых условиях. Кроме того, несоответствие длины рельсовой плети проектным значениям приводит к отклонениям от штатного режима эксплуатации и авариям. На рельсосварочном предприятии в настоящее время рельсовые плети для формирования паспорта плети измеряются дважды 20-метровыми лентами или лазерными рулетками с магнитными датчиками центрирования. На измерение длины плети (криволинейных поверхностей) мерной лентой или лазерным дальномером оказывает влияние измерение прямых отрезков вместо криволинейных [2], что приводит к разности расстояний  $\Delta d$ , измеренных по хорде и длине отрезка плети мерной лентой. Данные значения определяются по формуле

$$\Delta d = \frac{f}{2l},$$

где  $\Delta d$  – разность между фактическим пространственным положением отрезка длины плети и замыкающей;

$l$  – длина отрезка плети;

$f$  – величина отклонения от створа.

Значительное влияние на точность определения длины рельсовой плети мерной лентой оказывает изменение температуры окружающей среды. Величина изменения длины мерной ленты из-за влияния температуры определяется по формуле

$$\Delta p = \lambda \cdot l \cdot \Delta t,$$

где  $\Delta p$  – изменение длины мерной ленты;

$l$  – длина мерной ленты;

$\lambda$  – коэффициент температурного расширения мерной ленты;

$\Delta t$  – отклонение температуры от нормируемого значения.

Влияние оказывают и другие известные факторы, связанные с натяжением ленты, провисом и т. д.

Исследования, выполненные на РСП-29 (ст. Промышленная), показали, что относительная погрешность измерения мерной лентой длины 800-метровой плети составляет 1/2 000, что соответствует требованиям точности измерения длины мерной лентой, но не соответствует требованиям ТУ-2000. Лазерная рулетка, с учетом использования магнитных центрирующих устройств, обеспечивает относительную погрешность измерения рельсовой плети 1/3 000. Таким образом, определение параметров криволинейных объектов традиционными средствами измерений, включая рельсовую плеть, не обеспечивает требований ТУ-2000, поэтому поставленная задача является актуальной [1, 3]. Для реализации данной задачи разрабатываются специальные измерительные приборы [4, 5]. Данная проблема актуальна и в области промышленного и гражданского строительства [6, 7]. На автомобильных дорогах измерение криволинейных поверхностей и расстояний выполняется с использованием дорожных курвиметров, которые обеспечивают относительную погрешность измерений от 1/300 до 1/1 000, что решает ряд задач при измерении криволинейных поверхностей, например при паспортизации и диагностике автомобильных дорог.

Задача, поставленная ЗСЖД ОАО «РЖД» в 2009 г. по разработке прибора для измерения рельсовых плетей для рельсосварочных предприятий, на первый взгляд простая, так как решается с применением электронных тахеометров, обеспечивающих требуемую точность измерения максимальной длины 800-метровой плети. Рассматривались еще несколько вариантов реализации поставленной задачи. Так, рассматривался способ, в основе которого лежит фиксация контрольных точек на эталонной 50-метровой базе с использованием электронных меток. Один из вариантов заключался в использовании одоиметрического метода и дорожных курвиметров, позволяющих определять криволинейные расстояния.

В результате опытных работ после нескольких циклов измерений от применения электронных тахеометров отказались из-за высокой трудоемкости измерения криволинейных объектов, требующих уменьшения «шага» съемки в кривых радиусом 200–500 м до 5 м и необходимости привлечения к работе геодезиста, и самое главное – в процессе сварочных работ данный метод не обеспечивал те-

кущий контроль длины рельсовой плети. Вторым исследуемым способом также не привел к реализации и применению в стационарных условиях контрольных меток на фиксированной измерительной базе. Использование контрольных меток не требовало привлечения геодезистов в процессе измерений, что значительно сокращало затраты на выполнение работ, но полная длина плети определялась только по окончании сварочных работ. Измерение домера  $\Delta l$ , величина которого не превышает 50 м, обеспечивает приемлемую точность измерения рельсовой плети, но ограничено функциональными возможностями

$$S = (l \cdot n) + \Delta l,$$

где  $S$  – длина плети;

$l$  – 50-метровый эталонный отрезок;

$n$  – количество отрезков, измеренных оптическими датчиками;

$\Delta l$  – домер после окончания сварочных работ по формированию рельсовой плети.

Эффективность данного метода измерения длины рельсовой плети высокая, при этом не удалось разработать способ измерения текущей длины плети при реверсивном движении в технологическом процессе ее сварки. Таким образом, недостатком этого варианта являются ограниченные функциональные возможности, не позволяющие выполнять измерения в процессе сварки плети, т. е. измерять текущее значение длины рельсовой плети в любой момент времени, что необходимо для обеспечения технологического процесса.

Третий вариант, в основе которого лежит одомерный метод измерения расстояния (при использовании дорожного курвиметра с системой коррекции измеряемого расстояния), на первом этапе испытаний не обеспечивал точность измерения расстояния рельсовой плети. Проблемой для данного метода является налипание металлической стружки на мерное колесо и влияние при реверсивном движении низкого коэффициента сцепления колеса с рельсом, что приводило к изменению радиуса качения и в конечном итоге не обеспечивало приемлемой точности измерений. При этом функциональные возможности измерения рельсовой плети при ее многократном перемещении вперед и назад (реверсивное движение) в процессе сварки на 1–25 м (требования технологического процесса) показали высокую эффективность и перспективность данного метода при измерении как текущей длины рельсовой плети, так и длины плети для создания паспорта на готовое изделие (рельсовую плеть) при обеспечении требуемой точности.

### ***Разработка аппаратно-программного комплекса измерения рельсовой плети***

Реализация данного способа для измерения расстояний с высокой точностью (требования ТУ-2000) требовала, как показали исследования, решения нескольких принципиальных задач:

- 1) обеспечить в условиях повышенной динамики движения рельсовой плети в прямом и обратном направлениях высокий уровень сцепления колеса в одометрическом методе;
- 2) исключить изменение радиуса качения из-за влияния налипания стружки и других частиц на колесо;
- 3) обеспечить непрерывный контроль температуры рельса и колеса;
- 4) обеспечить дискретность единичного приращения пути не более 1 мм для исключения влияния на точность измерений многократных перемещений рельсовой плети в прямом и обратном направлении;
- 5) исключить намагничивание головки рельса при измерении расстояний.

В результате научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы разработан и запатентован прибор [8] для технологического контроля рельсо-сварочного производства (СТК-РП). Проведены метрологические исследования, прибор внесен в Реестр средств измерения (Свидетельство RU.C.27.007.A № 25590, регистрация СТК-РП в Реестре средств измерения № 32964-06).

Система СТК-РП представляет собой стационарную установку модульного типа, состоящую из измерительного блока и системы контроля. Внешний вид измерительного блока представлен на рис. 1.

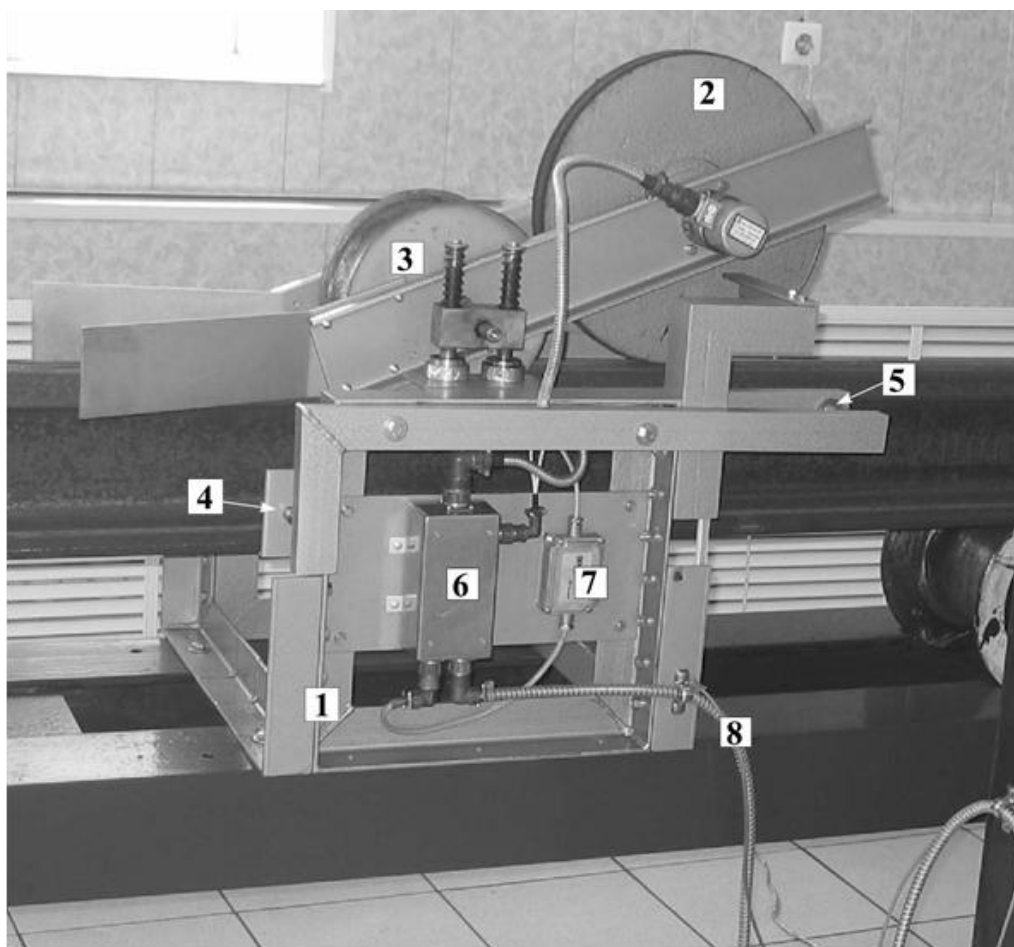


Рис. 1. Общий вид измерительного блока

Измерительный блок состоит из несущей рамы 1, мерного колеса 2 с датчиком углового перемещения, направляющего ролика 3, пирометрического датчика 4 с электронным блоком 7, излучателя и приемника датчика начала/окончания рельсовой плети (фотодатчика) 5, электронного блока измерителя расстояния 6. Электронный блок соединен с компьютером при помощи кабеля 8. В качестве панели управления используются экран монитора и клавиатура компьютера.

Внешний вид системы контроля представлен на рис. 2.

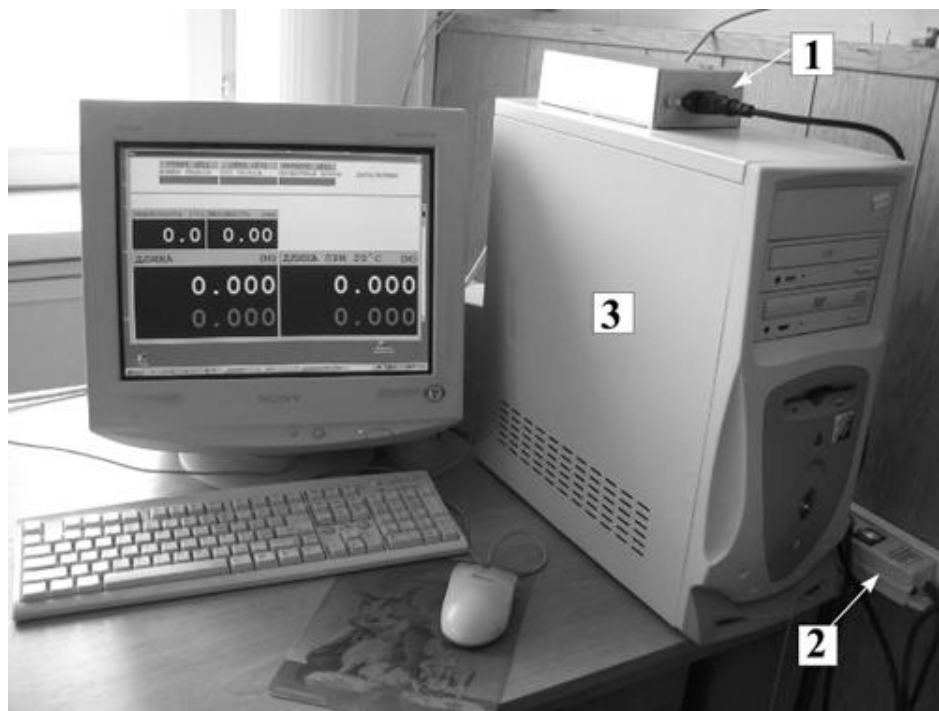


Рис. 2. Распределительное устройство (система контроля):  
1 – блок питания; 2 – распределительное устройство; 3 – системный блок

Система оснащена пирометрическим датчиком температуры (преобразователем температуры Thermalert) для приведения измеренной длины рельса к температуре 20 °С.

Система предназначена для работы в климатических условиях УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150 [9], при температуре окружающего воздуха от +10 до +35 °С, влажности – не более 80 % при температуре +25 °С. Технические характеристики СТК-РП приведены в табл. 1.

Принцип измерения расстояния одометрическим способом известен и заключается в расчете длины пути  $S_{\text{изм}}$ , пройденного мерным колесом (длины рельсовой плети), по известному значению радиуса  $R$  и количеству оборотов колеса, на практике – суммированию единичных приращений пути  $p$  при вращении измерительного колеса [8].

Таблица 1

Технические характеристики

Параметры	Величина
Диапазон измерений длины, м	1 000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений длины, %	0,01
Диапазон измерений температуры, °С	-40...+120
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры, °С	± 1
Питание от сети переменного тока: – напряжением, В – частотой, Гц	220 $\frac{+22}{-33}$
потребляемая мощность, В·А, не более	700
Габаритные размеры измерительного блока СТК-РП, мм, не более: – длина – ширина – высота	800 600 600
Масса системы, кг, не более	50
Система эксплуатируется в закрытом помещении: – рабочий диапазон температур, °С  – верхнее значение относительной влажности при +25 °С и более низких температурах, без конденсации влаги, %	20 $\frac{+15}{-10}$  80
Средний срок службы, лет, не менее	5
Режим работы	круглосуточный
Дискретность съема информации, мм	2

Точность измерения длины рельсовой плети при реализации технических решений в одометрическом способе зависит от точности определения масштабного коэффициента, который определяется по формуле

$$m = \frac{S_{\text{эт}}}{S_{\text{изм}}},$$

где  $m$  – масштабный коэффициент СТК-РП;

$S_{\text{эт}}$  – эталонное расстояние, полученное из нескольких контрольных промеров на отрезках заданной длины, измеренных лазерным дальномером ДТ-50 с магнитным датчиком принудительного центрирования;

$S_{\text{изм}}$  – расстояние, измеренное СТК-РП при использовании расчетного единичного приращения пути  $p$ ;

$$p = \frac{2\pi R}{n},$$

где  $p$  – расчетное единичное приращение пути;

$n$  – количество импульсов датчика пути на один оборот колеса;

$R$  – радиус измерительного колеса.

Для определения рабочего значения масштабного коэффициента  $m$  используются три эталонных расстояния  $S_{\text{эт}}$  и соответственно три масштабных коэффициента  $m_1, m_2, m_3$ , по которым рассчитывается среднее значение коэффициента

$$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3},$$

при расчете  $m_1, m_2, m_3$  значение  $p$  для каждого эталонного расстояния остается неизменным, максимальная разность между коэффициентами не должна превышать 0,004 %. С учетом масштабного коэффициента  $m$ , измеряемое расстояние определяется по формуле

$$S_{\text{изм}} = m \sum_1^n 2\pi R \cdot p.$$

### **Результат испытаний СТК-РП**

Для оценки работоспособности СТК-РП, функциональных возможностей, точности измерений и динамики изменений параметров контроля в течение длительного времени (5 месяцев) выполнялись исследования контроля изменения радиуса качения измерительного колеса с течением времени, влияния износа измерительного колеса и изменения геометрии направляющего колеса на качество центрирования измерительного колеса, определения стабильности масштабного коэффициента и точности измерений длины рельсовых плетей в различных температурных режимах.

Оценка точности измерения рельсовой плети СТК-РП на РСП-29 (ст. Промышленная Кемеровской области) в режиме мониторинга, выполненная в течение 5 циклов контрольных измерений (установка № 1, сварочная линия 1) с использованием эталонных измерений  $S_{\text{эт}}$  лазерным дальномером DT-50 приведена в табл. 2.

Системы технологического контроля рельсосварочного производства СТК-РП (3 шт.), установленные на РСП-29 в 2010–2011 гг., работают более 10 лет. В Республике Казахстан (РСП-11, Курорт Боровое) работают две установки с 2015 г.



Таблица 2

Контрольные измерения рельсовой плети

Циклы измерений 2015 г.	Эталонное расстояние $S_{\text{эт}}$ (м)	Измеренное расстояние $S_{\text{изм}}$ (м) СТК-РП	Разность $S_{\text{эт}} - S_{\text{изм}}$ (м)
1 (январь)	441,332	441,310	+0,022
2 (апрель)	397,624	397,609	+0,015
3 (июнь)	310,113	310,138	-0,025
4 (сентябрь)	366,010	366,026	-0,016
5 (ноябрь)	102,615	102,613	+0,002

\* Измерения длины рельсовой плети и эталонные расстояния выполнены одновременно, при постоянной температуре плети.

Для обеспечения работоспособности и технических характеристик ежегодно выполняются профилактические мероприятия и метрологические исследования в соответствии с Руководством по эксплуатации, требованиями о метрологических поверках и общими требованиями к обеспечению качества измерений. Опыт эксплуатации СТК-РП показал, что использование уникальных (специализированных) систем для решения определенных инженерных задач, несмотря на мелкосерийное производство, значительно эффективней традиционных методов и средств измерения, например использования лазерных дальнометров или электронных тахеометров, с помощью которых также можно определять криволинейные поверхности с приемлемой точностью. Совершенствование методики измерения длины рельсовых плетей позволило автоматизировать процесс и обеспечить приемлемую точность измерений длины плети.

**Заключение**

Разработка и опыт эксплуатации СТК-РП и использование технических решений [8] позволили создать железнодорожный курвиметр (ЖК-1) для определения длины рельсовых плетей при ремонте и реконструкции железнодорожного пути. На рис. 3 показан общий вид прибора на участке контроля длины плети.

Высокая точность измерения криволинейных поверхностей, возможность приведения в реальном времени длины плети к расчетной (расчетная температура +20 °С), наличие функциональных возможностей реверсивных измерений и фиксации длины на объектах инфраструктуры (опора контактной сети, платформа, светофор и т. д.), а также возможность выполнения разбивочных работ с высокой точностью обеспечивают высокую эффективность применения прибора на железных дорогах.

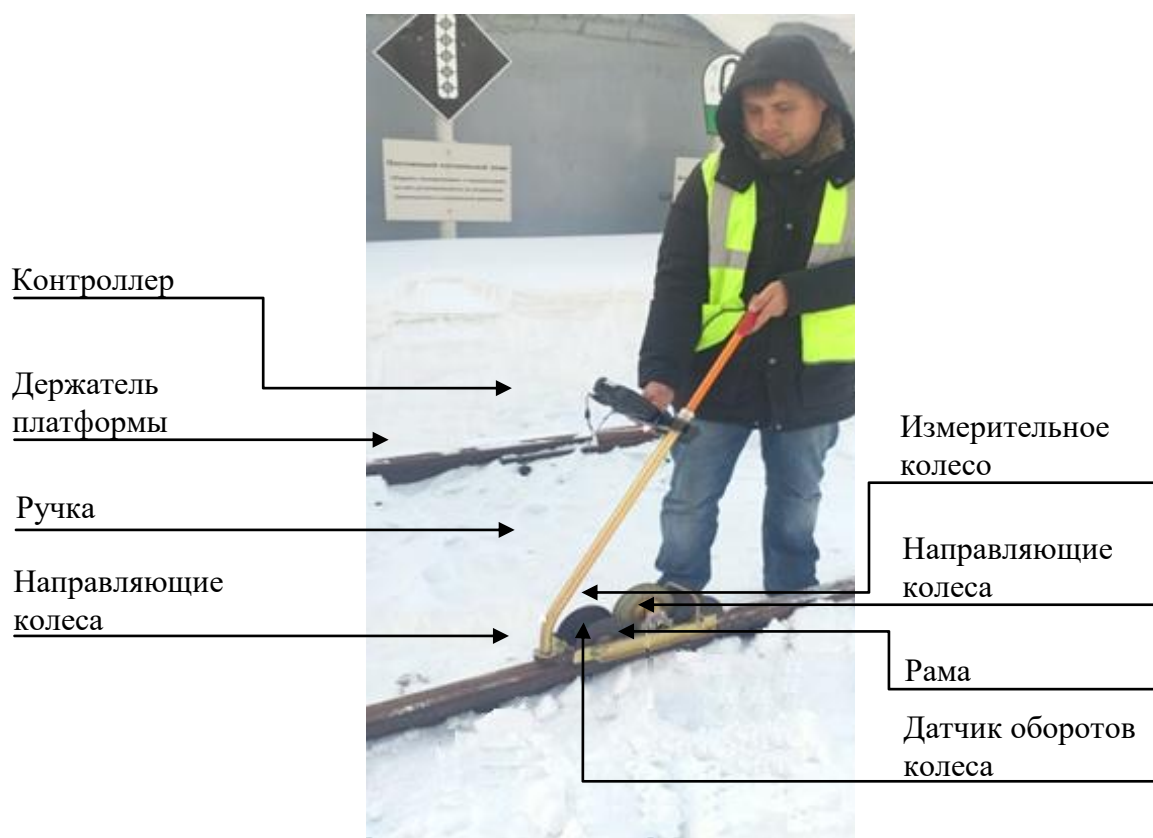


Рис. 3. Железнодорожный курвиметр (ЖК)

Производительность работ ЖК-1 в 3–5 раз выше (в зависимости от количества кривых) по отношению к методам с использованием электронных тахеометров с учетом обеспечения требований технических указаний по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (ТУ-2000).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2469894 Российская Федерация, МПК 51 В61К 9/08. Способ определения продольного-напряженного состояния рельсовых плетей бесстыкового пути / В. В. Щербаков, Д. В. Величко, В. Д. Верескун, Н. И. Карпущенко, А. Н. Модестов ; заявитель и патентообладатель СГУПС. – 2010141239/11 ; заявл. 20.04.2012 ; опубл. 20.12.2012.
2. Сальников В. Г. Совершенствование методики выполнения измерений по программе общего створа // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 66–75.
3. Литвинова Л. Ф. Разработка и исследование технологии геодезического контроля геометрии криволинейных поверхностей : автореф. дис. канд. техн. наук. – Ростов н/Д. : РГСУ, 1999. – 17 с.
4. Пимшин Ю. И., Глухов В. П., Демиденко А. С. Об универсальном лазерном приборе для контроля геометрии объектов. Прикладная геодезия. – Ростов н/Д. : РГСУ, 1998. – 39 с.
5. Пат. 183346 Российская Федерация, МПК G01B 21/20. Лазерно-фотометрическое устройство измерения геометрических параметров поверхности криволинейных объектов / Б. В. Скворцов, А. В. Черных, Д. М. Живосновская; патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский нацио-

нальный исследовательский институт имени академика С. П. Ковалева» ; заявл. 28.03.2018 ; опубл. 18.09.2018 ; Бюл. № 6.

6. Столбов Ю. В. Прикладная геодезия. Геодезические разбивочные работы при строительстве зданий и сооружений. – Омск : СибАДИ, 2016.

7. Неволин А. Г., Медведская Т. М. Анализ точности геометрических параметров агрегатов цилиндрической формы по результатам геодезических измерений // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 5–13.

8. Пат. 2290603 Российская Федерация, МПК 51 G 01 В 7/04. Устройство для измерения длины изделий из ферритмагнитных материалов / В. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель СГУПС. – 2005111811/28 ; заявл. 20.04.2005 ; опубл. 20.04.2005.

9. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М. : Стандартинформ, 2010.

Получено 20.04.2020

© В. В. Щербаков, 2020

## SYSTEM OF TECHNOLOGICAL CONTROL OF RAIL WELDING PRODUCTION

*Vladimir V. Shcherbakov*

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy, phone: (913)912-86-91, e-mail: vvs@stu.ru

The article is devoted to the development of a technological control system for rail welding production (STK-RP) allowing to measure the length of rail tracks in accordance with TU 2000. Determining the distances and geometric parameters of curvilinear objects and surfaces, including the rail lash, is an urgent task, because if the length of the rail lash does not correspond to the designed one for laying within the specified boundaries of the repair or reconstruction site, it is necessary to use expensive equipment for welding and cutting the lash in the field, and when working in the "window" with a time limit, these operations negatively affect the term of completion of the facility, as well as the quality of repair of railways. The paper gives examples of the implementation of this method for measuring distances with high accuracy, which required, as studies showed, solving fundamental problems.

**Key words:** rail lashes, jointless track, system for technological control of rail welding production (STK-RP), railway curvimeter.

## REFERENCES

1. Shcherbakov, V. V., Velichko, D. V., Vereskun, V. D., Karpushchenko, N. I., & Modestov, A. N. (2012). Patent 2469894 Russian Federation. The method for determining the longitudinal-stress state of the rail lashes of the jointless path [in Russian].
2. Salnikov, V. G. (2019). Improving the measurement method on the overall alignment program. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(2), 66–75 [in Russian].
3. Litvinova, L. F. (1999). Development and study of the technology of geodetic control of the geometry of curved. *Extended abstract of candidate's thesis*. Rostov on Don: RGSU Publ., 17 p. [in Russian].

4. Pimshin, Yu. I., Glukhov, V. P., & Demidenko, A. S. (1998). *Ob universal'nom lazernom pribore dlya kontrolya geometrii ob"ektov. Prikladnaya geodeziya [On a universal laser device for monitoring the geometry of objects. Applied Surveying]*. Rostov on Don: RGSU, 39 p. [in Russian].

5. Skvortsov, B. V., Chernykh, A. V., & Zhivosnovskaya, D. M. (2018). Patent 183346 Russian Federation. Laser-photometric device for measuring the geometric parameters of the surface of curved objects [in Russian].

6. Stolbov, Yu. V. (2016). *Prikladnaya geodeziya. Geodezicheskie razbivochnye raboty pri stroitel'stve zdaniy i sooruzheniy [Applied Surveying. Geodetic alignment work in the construction of buildings and structures]*. Omsk: SibADI [in Russian].

7. Nevolin, A. G., & Medvedskaja, T. M. (2015). Analysis of geometric parameter accuracy of cylinder form aggregates according to geodetic measurement results. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(32), 5–13 [in Russian].

8. Shcherbakov, V. V. (2005). Patent 2290603 Russian Federation. A device for measuring the length of products made of ferrimagnetic materials [in Russian].

9. Standards Russian Federation. (2010). GOST 15150–69. Machines, devices and other technical products. Versions for different climatic regions. Categories, operating conditions, storage and transportation regarding the impact of climatic environmental factors. Moscow: Standartinform [in Russian].

Received 20.04.2020

© V. V. Shcherbakov, 2020