

УДК 004.414.2:625.1

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-127-138

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКОЙ

Владимир Васильевич Щербаков

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

В статье рассмотрены методы создания цифровых проектов для автоматизированных систем управления САУ-3D, специфика создания цифровых проектов и отличие методических решений для железных дорог. Показаны преимущества разработанной методики оцифровки пути по отношению к пересчету проектных координат из местной системы координат в новую систему координат для обеспечения работы САУ-3D. Приведена структурная схема создания цифрового проекта по данным оцифровки пути с использованием АПК «Профиль» и проектных геометрических параметров. Показаны примеры использования традиционной проектной документации с целью получения исходных данных для создания цифровых проектов.

Ключевые слова: методика создания цифровых проектов, системы координат, системы автоматизированного управления (САУ-3D), инженерно-геодезическое обеспечение ремонта железных дорог.

Введение

Строительство и ремонт железнодорожного пути выполняется комплексом различных строительных машин, включая специализированные железнодорожные машины [1]. За последние годы в Российской Федерации созданы и разрабатываются новые современные высокопроизводительные строительные машины [2]. Новые машины оборудуются системами управления выправкой пути, включая автоматизированные системы САУ-2D, к которым относятся системы с копировальной струной, применяются методы управления выправкой пути и приборы, в основе которых лежит метод ГСИ «График стрел изгиба», например система управления выправкой пути WIN ALC (Австрия). В российских системах управления «Магистраль» и АС «Навигатор» используются параметрические данные для выправки пути, например радиус кривой, длина переходных и круговой кривой, применяются системы управления выправкой пути с лазерными построителями плоскости типа EM-SAT (Австрия-Италия). Кроме того, существуют и другие аналогичные системы управления выправкой

пути [3], а также системы контроля геометрических параметров индикаторного типа. Наличие систем управления (СУ) выправкой пути и контроля геометрических параметров у строительных железнодорожных машин требует геодезического обеспечения как при подготовке, так и в процессе строительства или ремонта (для некоторых типов машин геодезического обеспечения). Комплекс геодезических работ включает создание опорной геодезической сети, разбивочные работы, вынос проекта в натуру в плане и профиле, геодезический контроль строительномонтажных работ, операционный контроль отдельных видов работ, исполнительные съемки. Комплекс геодезических работ трудоемкий и не всегда обеспечивает необходимую производительность, особенно в «окно». Для обеспечения работы современных высокопроизводительных строительных железнодорожных машин автоматизация геодезического обеспечения особенно актуальна. Автоматизация отдельных видов геодезических работ обеспечивает повышение производительности, но наибольший эффект можно получить, используя автоматизированные геодезические средства и методы для управ-

ления строительными процессами, включая автоматизированное управление строительными машинами. К таким средствам измерения относятся спутниковые приемники ГНСС и робот-тахеометр, которые могут выполнять измерения в автоматизированном режиме в аппаратно-программных комплексах типа САУ-3D, при этом применение робота-тахеометра предусматривает использование опорной геодезической сети. Одной из важнейших задач практического применения САУ-3D является создание цифрового проекта ЦП [3–7] на участок строительства (ремонта) для реализации проектных решений с использованием комплекса машин, оборудованных САУ-3D. Для этого необходимо создание 3D-модели объекта строительства (ремонта), на практике используются цифровые модели местности (ЦММ), цифровые модели рельефа (ЦМР), а также системы автоматизированного проектирования (САПР) и ГИС-технологии. Создание цифрового проекта при этом зависит от объекта строительства, например строительства автомобильной дороги [8–10].

Опыт применения САУ-3D на автомобильных дорогах показывает, что наиболее часто САУ-3D используются для планировочных работ земляного полотна, при устройстве дорожных одежд. САУ-3D устанавливаются на автогрейдер, бульдозер, уплотнители и другие машины, при этом применяется импортное оборудование, например Leica (iCON-80), Trimble (3D LPS), Topcon (RoverGrade 3D), а также САУ-3D других производителей геодезического оборудования [11, 12]. Анализ методов создания цифровых проектов показал, что одной из проблем, в настоящее время ограничивающих создание цифровых проектов (ЦП) и соответственно практическое применение САУ-3D, является отсутствие нормативной базы, регулирующей и регламентирующей применение современных геодезических технологий [13–16, 6]. К таким технологиям относятся лазерное сканирование и беспилотные летательные аппараты (БПЛА), обеспечивающие высокую эффективность создания цифровых моделей местности, цифровых моделей рельефа и цифровых моделей пути (ЦМП).

Второй, не менее важной составляющей практического применения САУ-3D является программное обеспечение (ПО) для обработки цифровых данных ЦММ, ЦМР, ЦМП, а также для создания цифровых проектов. Программное обеспечение в России представлено системами автоматического проектирования, включая наиболее известные: «Кредо-Диалог» (Республика Беларусь), «Топоматик Robur», «IndorCAD» (Россия), ПО компании Autodesk (США). Проектные решения, полученные в данных ПО, конвертируются в форматы DXF 3D-модели проектных поверхностей для САУ-3D. Проектные поверхности создаются для каждого проектного слоя и соответственно используются на соответствующих этапах строительства, включая планировочные работы по созданию земляного полотна, устройству дорожных одежд, основания и покрытия. Опыт применения САУ-3D в России и за рубежом на строительстве автомобильных дорог показал, что производительность повышается на 70 %, сокращение сроков выполнения работ происходит в 1,5–2 раза [8]. Несмотря на высокие технико-экономические показатели применения САУ-3D, широкое внедрение ограничено отсутствием нормативной базы не только для применения БПЛА и лазерного сканирования (как уже отмечалось), но и непосредственно САУ-3D. Второй ограничивающий фактор применения САУ-3D – психологический, связанный с переходом от традиционных разбивочных работ с использованием разбивочных чертежей (документ привычный и понятный для геодезистов и дорожных мастеров) к ЦП с набором цифровых данных, структура и форматы которых не могут применяться для выноса в натуру проектных данных с использованием традиционных средств и методов. Ограничения применения САУ-3D связаны не только со строительством автомобильных дорог, аналогичные ограничения характерны и для других видов строительства и ремонта, включая железные дороги. При этом если при строительстве автомобильных дорог применяются импортные системы, то специализированные железнодорожные машины отечественного производства не используют

импортные САУ-3D. Цифровые проекты, применяющиеся на автомобильных дорогах или при строительстве промышленных сооружений, неприемлемы для железных дорог с учетом специфики работы строительных железнодорожных машин и обеспечения безопасности на железных дорогах, поэтому используются другие методы создания цифровых проектов для САУ-3D с целью управления строительными железнодорожными машинами [14, 7].

Специфика создания цифровых моделей для железных дорог

Специфика создания цифровых моделей пути и цифровых проектов для САУ-3D, применяющихся для специализированных железнодорожных машин, заключается в следующем.

1. Объекты инфраструктуры имеют пространственную привязку к оси пути, при этом контроль геометрических параметров для обеспечения безопасности движения выполняется относительно оси пути (габариты приближения строений).

2. Проектные сдвиги рассчитываются относительно оси пути (рихтовка в плане и подъемка в профиле), пространственное положение балластной призмы и другие параметры верхнего строения пути нормируются и контролируются относительно оси железнодорожного пути.

3. Для обеспечения проектных решений создается местная (МСК) и связанная с ней линейная система координат (Км + Пк + м).

4. Проектные данные на участок ремонта содержат пространственные данные (координаты оси пути в МСК) и геометрические параметры, включая проектные расстояния до объектов инфраструктуры, например проектные расстояния от оси пути до опор контактной сети, проектное междупутье, рихтовки и подъемки рассчитываются относительно оси существующего пути.

5. Ограничение временного интервала выполнения работ, включая наиболее жесткие требования к выполнению графика работ, – выполнение ремонта в «окно».

6. Строительные машины для выполнения технологического процесса ремонта имеют различные задачи на каждом этапе работ и существенно отличаются как конструктивно, так и по функциональным задачам.

7. Требования к обеспечению точности пространственного положения оси пути и взаимного положения смежных точек пути отличаются в 20 раз.

8. Проектная документация на ремонт включает проектные пространственные данные и специфические, характерные только для железных дорог, определяющие смещение пути в плане и профиле относительно существующего пути геометрические параметры.

Исходя из приведенной в п. 1–8 специфики требований к системам координат, проектным геометрическим и пространственным данным железных дорог, разработана методика создания цифровых проектов для систем контроля геометрических параметров вырезки балласта (СКВБ) [17, 18], систем контроля качества уплотнения балласта (СКУБ) [19], САУ-3D [20, 21] с использованием АПК «Профиль» и МЛС «Сканпуть» [22, 23].

Данные системы созданы впервые в России для строительства и ремонта железнодорожного пути в едином комплексе, включая единое для всех машин координатное пространство, единый цифровой проект, общую структуру и форматы данных для САУ-3D и других систем контроля и управления. САУ-3D создаются на базе робота-тахеометра и спутниковых приемников позиционирования ГНСС, обеспечивающих определение пространственного положения подвижных объектов. Пространственное положение оси пути в САУ-3D на базе ГНСС определяется в системе координат ITRF-2014, а проектные данные (координаты оси пути и других объектов) на участок ремонта традиционно представлены в местной системе координат.

Преобразование (пересчет координат) из одной системы в другую выполняется с использованием ГОСТ 32453–2017 [24], вклю-

чая конвертеры координат, пересчет координат МСК-ITRF-2014 в AutoCAD, PHOTOMOD GeoCalculator и т. д., при этом проблемой является преобразование нормальных высот в геодезические и обратно с приемлемой точностью [25–27]. Разработаны алгоритмы, позволяющие при определенных условиях получать приемлемую точность определения высотных отметок при пересчете координат, но это связано с дополнительными измерениями и организационными проблемами, а также с большим объемом вычислений для получения исходных данных [25]. Практический опыт показал сложность реализации данных решений с приемлемой для ремонта железнодорожного пути точностью [13, 28].

Для реализации пересчета координат необходимо изменить требования к существующей нормативной базе [15, 16, 6] по созданию опорной геодезической сети, методики изменений, а самое главное – результаты пересчета не гарантируют приемлемую точность получения высотных отметок. Поэтому в путеизмерительных комплексах Trimble Gedo Vorsys Amberg GRP VX 3000 применяются роботы-тахеометры и САУ-2D (WIN ALC) [3, 4]. При этом производительность создания ЦП с использованием тахеометров и применения системы выправки WIN ALC в 2–4 раза ниже в зависимости от количества кривых на участке ремонта по отношению к САУ-3D на базе ГНСС, а трудозатраты значительно выше, так как съемку пути необходимо выполнять перед проходом каждой строительной железнодорожной машины на всех этапах ремонта, общее количество циклов измерения составляет от 6 до 10.

С учетом высокой трудоемкости работ актуальной задачей является применение на железных дорогах САУ-3D на базе ГНСС не только для планировочных работ по земляному полотну, но и постановки пути в проектное положение. В результате многолетних исследований найдено оптимальное решение по алгоритму и методике создания цифровых проектов для обеспечения работы САУ-3D на базе ГНСС на железных дорогах [14, 7].

Методика создания цифровых проектов

В основе предлагаемых решений лежит возможность использования для выноса проектных данных в натуру геометрических параметров, определяющих проектные смещения пути относительно существующего пространственного положения пути. В данном решении использовалась одна из особенностей проектной документации на ремонт железнодорожного пути, а именно наличие эпюры рихтовок и продольного профиля, в которых приведены проектные данные (рихтовка и подъемка) смещения пути относительно существующего пространственного положения пути. Это позволяет использовать систему координат ITRF-2014 [29] без каких-либо преобразований пространственных проектных данных (МСК) с целью создания ЦП для САУ-3D.

Сущность создания цифрового проекта заключается в оцифровке ремонтного железнодорожного пути с использованием АПК «Профиль» (до начала ремонта) и использовании традиционной проектной документации (проектный профиль, эпюра рихтовок) для корректировки координат положения существующего пути. Создание цифровых проектов для САУ-3D строительных железнодорожных машин включает несколько этапов и выполняется последовательно в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 1.

Данные технические решения согласуются с комплексом подготовительных работ до начала ремонта и выполняются одновременно для обеспечения проверки (контроля) проектных решений на участке ремонта, актуализации проекта необходимых разбивочных работ для обеспечения работы (САУ-3D). Таким образом, натурная съемка АПК «Профиль» для оцифровки пути обеспечивает, кроме создания ЦП, актуализацию проекта и разбивочные работы, что снижает стоимость создания ЦП (за счет комплексного подхода).

Оцифровка выполняется АПК «Профиль», МЛС «Сканпуть» и другими специализированными измерительными системами.

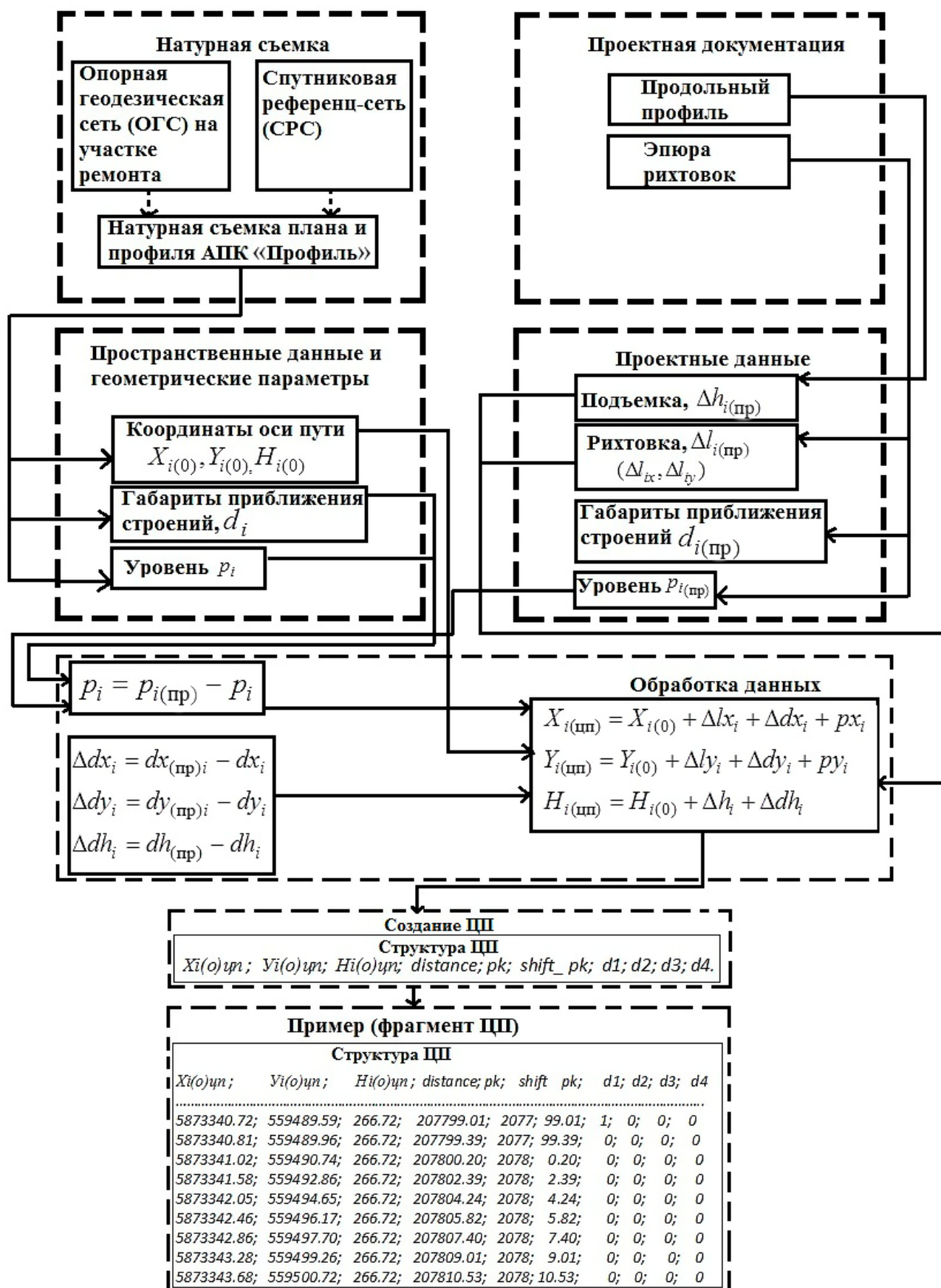


Рис. 1. Структурная схема создания цифровых проектов для САУ-3D

В качестве опорной геодезической основы используются реперная сеть на участке ремонта (созданная на этапе проектно-изыскательских работ) и спутниковая референц-сеть для обеспечения натурной съемки АПК «Профиль» дифференциальными поправками. Данные натурной съемки, координаты оси пути X, Y, H , габариты приближения строений d , и уровень (превышение между рельсовыми нитями), p необходимы для цифрового описания железнодорожного пути. Уровень необходим в ЦП для редукции координат фазовых центров спутниковых антенн на головки рельса, при этом по уровню в кривых также определяется базовая (реперная) рельсовая нитка. Габариты приближения строений необходимы для актуализации проектных данных, обусловленных влиянием динамических факторов в промежутке времени от изысканий до строительства. Проектная документация (продольный профиль и эпюра рихтовок) в традиционных форматах необходима для корректировки пространственного положения оси существующего ремонтного пути и получения нового проектного положения оси пути, которое и составляет основу цифрового проекта. Данные проектной документации, величины рихтовки l_i (пр), подъемки h_i (пр) и уровня p (пр) в i -х точках проекта (см. рис. 1) используются для корректировки координат оси пути в плане и профиле, а также геометрии рельсовой колеи. Таким образом, исходными данными для ЦП являются данные натурной съемки, включая пространственное положение оси пути в системе координат ITRF-2014 (WGS-84) и проектные данные, которые определяют относительные величины в плане и профиле (рихтовка, подъемка и уровень), характеризующие взаимное положение существующего (до ремонта) и проектного пространственного положения пути. Координаты оси пути $X_{(0)}, Y_{(0)}, H_{(0)}$ в системе координат ITRF-2014, являющейся основой работы САУ-3D, полученные при выполнении натурной съемки, корректируются проектными значениями рихтовки, подъемки – по формулам

$$X_{i(0)\text{цп}} = X_{i(0)} + \Delta l x_i + \Delta d x_i + p x_i;$$

$$Y_{i(0)\text{цп}} = Y_{i(0)} + \Delta l y_i + \Delta d y_i + p y_i;$$

$$H_{i(0)\text{цп}} = H_{i(0)} + \Delta h_i + \Delta d h_i,$$

где $X_{i(0)\text{цп}}, Y_{i(0)\text{цп}}, H_{i(0)\text{цп}}$ – проектные координаты оси пути цифрового проекта; $X_{i(0)}, Y_{i(0)}, H_{i(0)}$ – координаты оси существующего пути (до ремонта); $\Delta l x_i, \Delta l y_i$ – составляющие рихтовки по соответствующим координатам; Δh_i – проектная подъемка; $\Delta d x_i, \Delta d y_i, \Delta d h_i$ – составляющие актуализации по соответствующим координатам; $p x_i, p y_i$ – составляющие редукции по соответствующим координатам.

Значения $\Delta d x_i, \Delta d y_i, \Delta d h_i$ пространственного положения оси пути, обусловленные актуализацией, рассчитываются по разности фактических габаритов приближения строений на момент изысканий и фактических габаритов приближения строений на начало ремонта в заданных сечениях пути, например положение оси пути относительно опор контактной сети (ОКС), по формулам

$$\Delta d x_i = d x_{(\text{пр})i} - d x_i;$$

$$\Delta d y_i = d y_{(\text{пр})i} - d y_i;$$

$$\Delta d h_i = d h_{(\text{пр})} - d h_i,$$

где $d x_i, d y_i, d h_i$ – фактические габариты приближения строений; $d x_{(\text{пр})i}, d y_{(\text{пр})i}, d h_{(\text{пр})}$ – проектные габариты приближения строений.

Значение $\Delta p_i = p_{i(\text{пр})} - p_i$ определяется по разности проектного и фактического значения уровня.

Параметры цифрового проекта для САУ-3D и систем контроля строительной железнодорожной машины включают данные оси пути $X_{i(0)\text{цп}}, Y_{i(0)\text{цп}}, H_{i(0)\text{цп}}$ и параметры, обеспечивающие функциональные возможности на каждом этапе ремонта.

Структура цифрового проекта

Структура данных цифрового проекта представлена в заголовке ЦП [14]

$$X_{i(0)\text{цп}}; Y_{i(0)\text{цп}}; H_{i(0)\text{цп}}; \text{distance}; p k; \text{shift_pk}; \\ d1; d2; d3; d4.$$

Описание структуры:

$X_i(0)_{цп}$ – координата оси пути X ; $Y_i(0)_{цп}$ – координата оси пути Y ; $H_i(0)_{цп}$ – высотная отметка оси пути; *distance* – пикет (в метрах); *pk* – номер пикета; *shift_pk* – сдвиг на пикете (ПК+); *d1* – топокод (1 – признак наличия начала пикета, на карте будет отображен символ пикета); *d2*, *d3*, *d4* – служебные поля для параметров контроля.

Фрагмент цифрового проекта на участок ремонта пути для САУ-3D (ЭЛБ-4С) представлен в фрагменте ЦП.

Фрагмент ЦП на участок ремонта:

$X_i(0)_{цп}$;	$Y_i(0)_{цп}$;	$H_i(0)_{цп}$;	<i>distance</i> ;	<i>pk</i> ;	<i>shift_pk</i> ;	<i>d1</i> ;	<i>d2</i> ;	<i>d3</i> ;	<i>d4</i>
5873340.72;	559489.59;	266.72;	207799.01;	2077;	99.01;	1;	0;	0;	0
5873340.81;	559489.96;	266.72;	207799.39;	2077;	99.39;	0;	0;	0;	0
5873341.02;	559490.74;	266.72;	207800.20;	2078;	0.20;	0;	0;	0;	0
5873341.58;	559492.86;	266.72;	207802.39;	2078;	2.39;	0;	0;	0;	0
5873342.05;	559494.65;	266.72;	207804.24;	2078;	4.24;	0;	0;	0;	0
5873342.46;	559496.17;	266.72;	207805.82;	2078;	5.82;	0;	0;	0;	0
5873342.86;	559497.70;	266.72;	207807.40;	2078;	7.40;	0;	0;	0;	0
5873343.28;	559499.26;	266.72;	207809.01;	2078;	9.01;	0;	0;	0;	0
5873343.68;	559500.72;	266.72;	207810.53;	2078;	10.53;	0;	0;	0;	0

Пример формирования ЦП с использованием традиционной проектной документации приведен на рис. 2.

С использованием проектной традиционной документации (см. рис. 2) формируются базы данных (БД) по следующим проектным параметрам: *distance*; *pk*; *shift_pk*; *d1*; *d2*; *d3*.

Таким образом, реализуются проектные решения в цифровой модели пути с учетом специфики ремонта железнодорожного пути. Точность реализации проектных решений зависит от точности измерения координат приемниками ГНСС, обработки данных (фильтрация и сглаживание), соответствия цифровых данных проектным решениям, расчета сдвижек и подъемок с использованием алгоритмов САУ-3D и отработки перемещений подъемно-рихтовочным устройством (ПРУ) по управляющим сигналам на величину расчетных значений, а также влиянием упругих сил рельсовой плети при ее перемещении в неуплотненном или частично

уплотненном балласте. Оценка точности при реализации проектных решений с использованием САУ-3D показала, что отклонения от проектных данных в контрольных сечениях составляют 20 мм [30, 28], что соответствует нормативным требованиям [13, 14].

Заключение

Преимущества разработанной методики создания цифровых проектов для использования САУ-3D при ремонте железнодорожного пути заключаются в обеспечении приемлемой точности реализации проектных решений при ремонте железнодорожного пути и использовании линейными строительными организациями возможности создавать цифровые проекты собственными силами при отсутствии нормативно-технической базы на проектно-изыскательские работы по созданию ЦП. Главным достоинством предлагаемой методики является возможность использования тра-

- Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 12. – С. 10–12.
5. Розенберг И. Н., Дулин С. К., Якушев Д. А. Технологии мобильного лазерного сканирования для железнодорожной инфраструктуры // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 8. – С. 32–35.
6. СП 233.1326000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная система. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015.
7. Щербаков В. В., Ковалева О. В., Щербаков И. В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 12–16.
8. Кулижников А. М., Ануфриев А. А., Колесников И. П. Нормативная база для САУ 3D // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2. – С. 38–41.
9. Райкова Л. С., Петренко Д. А. Строительство автомобильных дорог на основе 3D-моделей // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2 (3). – С. 81–85.
10. Скворцов А. В. Нормативно-техническое обеспечение ВМ автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2. – С. 22–32.
11. Topcon Machine Control. 3D systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.topconpositioning.com/products/machinecontrol/3d>.
12. Trimble Heavy Civil Construction. Machine Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://construction.trimble.com/products/machine-control>.
13. Об утверждении и введении в действие откорректированной редакции технических условий на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р (21.01.2015) (с изм. от 19.12.2018).
14. Геодезическое обеспечение ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением ГНСС и систем автоматизированного управления на их базе : распоряжение ОАО «РЖД» № 3214 от 31.12.2015.
15. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11.02-96 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: base.garant.ru.
16. СП 126.13330.2012. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01-84 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: base.garant.ru.
17. Пат. 187173 Российская Федерация, RU 1МПК E01B 27/10. Щебнеочистительная машина / В. В. Щербаков, А. И. Пименов, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель ОАО «Сибдорпроект» 2018128963/11 ; заявл. 06.08.2018 ; опубл. 22.02.2019 ; Бюл. № 6.
18. Vladimir Shcherbakov, Ivan Buntsev and Olga Kovaleva. Development of a control system for a ballast cleaning machine using GNSS // E3S Web of Conferences, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019). – 2019. – Volume 135 (2019). – 02003. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502003>.
19. Пат. Российской Федерации 2703819, МПК 51 E01B 27/02. Способ автоматического контроля качества уплотнения балластного слоя рельсового пути и устройство для его осуществления / И. В. Щербаков, А. Л. Манаков, А. В. Воробьевский, А. И. Пименов, К. В. Голубкин, В. В. Щербаков. ; заявитель и патентообладатель СГУПС, ООО «Сибдорпроект» ; заявл. 18.12.2018 ; опубл. 22.10.2019, Бюл. № 30.
20. Пат. Российская Федерация 2551637, МПК E01B35/00. Устройство для выправки железнодорожного пути и способ выправки железнодорожного пути / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. Н. Модестов, И. А. Бунцев, В. П. Славкин. ; заявитель и патентообладатель Щербаков В. В. ; заявл. 22.07.2013 ; опубл. 27.05.2015. Бюл. № 15.
21. Vladimir Shcherbakov, Alexander Karpik, Marina Barsuk. Automation of Railroad Construction Technology Using Surveying Methods // Advances in Intelligent Systems and Computing, VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, Volume 2. – 2019. – Volume 1116 (DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3).
22. Пат. 116862 Российская Федерация, МПК 51 E 01 B 35/00 B61K 9/08. Устройство для определения пространственных параметров инфраструктуры железной дороги / В. В. Щербаков, В. Д. Верескун, В. А. Герасимов, А. Н. Модестов, А. С. Тараканов ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2011150328/11 ; заявл. 14.06.2011 ; опубл. 10.06.2012.
23. Щербаков И. В. Аппаратно-программный комплекс «Профиль-М» для определения пространственных и геометрических параметров рельсовой колеи // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Вып. 3 (22). – С. 45–60.
24. ГОСТ 32453–2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразования координат определяе-

мых точек (с поправками). – М. : Стандартинформ, 2017.

25. Алгоритм вычисления геодезической высоты по пространственным прямоугольным координатам / В. Н. Баландин, М. Я. Брынь, С. П. Ишменецкий, А. Ю. Матвеев, А. В. Юськевич // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 15–16.

26. Залуцкий В. Т. Усовершенствование алгоритма преобразований координат при переходе от ГСК в МСК города и обратно // Геодезия и картография. – 2017. – № 9. – С. 2–7.

27. Кашанин Н. В., Сухарев И. И. Исследование точности интерполирования отметок продольного профиля железной дороги различными методами // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Вып. 2 (22). – С. 36–43.

28. Разработка систем автоматизированного управления выправкой пути на базе ГНСС /

В. В. Щербаков, А. И. Пименов, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Транспортное строительство. – 2015. – № 9. – С. 22–25.

29. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF / В. С. Вдовин, В. В. Дворкин, А. П. Карпик, Л. А. Липатников, С. Д. Сорокин, Г. М. Стеблов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Вып. 1 (23). – С. 45–60.

30. Комягин С. А. Оценка точности постановки пути в проектное положение с использованием САУ-3D // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т. 1. – С. 119–129.

Получено 15.05.2020

© В. В. Щербаков, 2020

METHOD OF CREATING DIGITAL PROJECTS FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF CONSTRUCTION RAILWAY ENGINEERING

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 describes the methods of creating digital projects for automated control systems, the specifics of creating digital projects and the difference between methodological solutions for railways. The advantages of the developed methodology for digitizing the path with respect to the conversion of design coordinates from the MSC to a new coordinate system to ensure the operation of SAU-3D are shown. The block diagram of creating a digital project based on the digitization of the path using the hardware-software complex "Profile" and design geometric parameters. Examples of using traditional project documentation to obtain initial design data for creating digital projects are shown.

Key words: methodology for creating digital projects, coordinate systems, automated control systems, engineering and geodetic support for railroad repairs.

REFERENCES

1. Verkhovyykh, G. V. (2020). Priority tasks of the infrastructure complex. *Zheleznodo-rozhnyy transport [Railway Transport]*, 2, 52–56 [in Russian].
2. Grinchar, N. G. (2019). Modern and promising lightweight track machines for cleaning the rail-sleeper grid. *Put' i putevoe khozyaystvo [Path and Track Facilitie]*, 9, 18–21 [in Russian].
3. Ermakov, V. M., & Manuylo, D. S. (2019). Trebovaniya k putevym mashinam dlya realizatsii tsifrovoykh tekhnologiy remonta puti. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway Transport]*, 9, 30–33 [in Russian].
4. Ermakov, V. M., Yanovich, O. A., Kosarikova, T. V., & Sherokova, T. M. (2019). The efficiency of the operation of the path in a single coordinate space. *Put' i putevoe khozyaystvo [Path and Track Facilitie]*, 12, 10–12 [in Russian].
5. Rosenberg, I. N., Dulin, S. K., & Yakushev, D. A. (2018). Mobile laser scanning technologies for railway infrastructure. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway Transport]*, 8, 32–35 [in Russian].

6. Code of Practice 233.1326000.2015. (2015). Railway infrastructure High precision coordinate system. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology Publ. [in Russian].
7. Shcherbakov, V. V., Kovaleva, O. V., & Shcherbakov, I. V. (2016). Digital track models - the basis of geodetic support for the design, construction (repair) and operation of railways. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 3, 12–16 [in Russian].
8. Kulizhnikov, A. M., Anufriev, A. A., & Koleznikov, I. P. (2014). The regulatory framework for self-propelled guns 3D. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [CAD and GIS for Roads]*, 2, 38–41 [in Russian].
9. Raikova, L. S., & Petrenko, D. A. (2014). Construction of roads based on 3D-models. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [CAD and GIS for Roads]*, 2(3), 81–85 [in Russian].
10. Skvortsov, A. V. (2014). Regulatory and technical support of BIM roads. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [CAD and GIS for Roads]*, 2, 22–32 [in Russian].
11. Topcon Machine Control. 3D systems. (n. d.). Retrieved from <http://www.topconpositioning.com/products/machinecontrol/3d>.
12. Trimble Heavy Civil Construction. Machine Control. (n. d.). Retrieved from <http://construction.trimble.com/products/machine-control>.
13. Order of Russian Railways of January 18, 2013 No. 75r (January 21, 2015) (as amended on December 19, 2018). On approval and implementation of the revised edition of the technical specifications for reconstruction (modernization) and repair of the railway track. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
14. Order of Russian Railways No. 3214 of December 31, 2015. Geodetic support for repair (modernization) of the railway using GNSS and automated control systems based on them. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
15. Code of Practice 47.13330.2012. Engineering surveys for construction. The main provisions. Updated edition of SNiP 11.02-96. Retrieved from Garant online database [in Russian].
16. Code of Practice 126.13330.2012. Geodetic works in construction. Updated edition of SNiP 3.01-84. Retrieved from Garant online database [in Russian].
17. Shcherbakov, V. V., Pimenov, A. I., Buntsev I. A., & Shcherbakov I. V. (2019). Patent 187173 Russian Federation. Gravel cleaning machine [in Russian].
18. Shcherbakov, V., Buntsev, I., & Kovaleva, O. (2019). Development of a control system for a ballast cleaning machine using GNSS. *E3S Web of Conferences, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019)*, 135(2019), 02003. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502003>.
19. Shcherbakov, I. V., Manakov, A. L., Vorobevsky, A. V., Pimenov, A. I., Golubkin, K. V., & Shcherbakov, V. V. (2019). Patent Russian Federation 2703819. The method of automatic quality control of the compaction of the ballast layer of the rail track and a device for its implementation [in Russian].
20. Shcherbakov, V. V., Shcherbakov, I. V., Modestov, A. N., Buntsev, I. A., & Slavkin, V. P. (2015). Patent Russian Federation 2551637. A device for straightening a railway track and a method for straightening a railway track [in Russian].
21. Shcherbakov, V., Karpik, A., & Barsuk, M. (2019). Automation of Railroad Construction Technology Using Surveying Methods. *Advances in Intelligent Systems and Computing, VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, 1116(2020)*. doi: 10.1007/978-3-030-37919-3.
22. Shcherbakov, V. V., Vereskun, V. D., Gerasimov, V. A., Modestov, A. N., & Tarakanov, A. S. (2012). Patent 116862 Russian Federation. A device for determining the spatial parameters of the railway infrastructure [in Russian].
23. Shcherbakov, I. V. (2017). Profile-M Hardware and Software Suite for Determining the Spatial and Geometric Parameters of the Track Gauge. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 45–60 [in Russian].
24. Standards Russian Federation. (2017). GOST 32453–2017. Global Navigation Satellite System. Coordinate systems. Methods for transforming coordinates of defined points. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
25. Balandin, V. N., Bryn', M. Ya., Ishmenetskiy, S. P., Matveev, A. Yu., & Yuskevich, A. V. (2006). Algorithm for calculating the geodetic height of spatial rectangular coordinates. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 6, 15–16 [in Russian].
26. Zalutsky, V. T. (2017). Improvement of the coordinate transformation algorithm during the transition from the GSK to the MSC of the city and vice versa. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9, 2–7 [in Russian].
27. Kanashin, N. V., & Sukharev, I. I. (2017). Investigation of the accuracy of marks interpolation of the railway longitudinal profile by different methods. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(2), 36–43 [in Russian].
28. Shcherbakov, V. V., Pimenov, A. I., Buntsev, I. A., Shcherbakov, I. V., & Kovaleva, O. V.

(2015). Development of automated track straightening control systems based on GNSS. *Transportnoe stroitel'stvo [Transport Construction]*, 9, 22–25 [in Russian].

29. Vdovin, V. S., Dvorkin, V. V., Karpik, A. P., Lipatnikov, L. A., Sorokin, S. D., & Steblou, G. M. (2018). Current state and future development of active satellite geodetic networks in Russia and their integration into ITRF. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 45–60 [in Russian].

30. Komyagin, S. A. (2019). Evaluation of the accuracy of statement of the way to the project status with ACS-3D. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, No. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, No. 1 [Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 119–129). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

Received 15.05.2020

© V. V. Shcherbakov, 2020