

УДК 528.486.3:625.11

DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-14-21

## О точности разбивочной сети для строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали

Н. В. Канашин<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* e-mail: nikolay\_kanashin@mail.ru

**Аннотация.** Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей требует высокоточных геодезических работ как на стадии строительства, так и при эксплуатации сооружения. Геодезическая разбивочная сеть, являясь основой строительства магистрали, требует особой тщательности и высокой точности измерений для ее создания. Анализ выполненных в этой области исследований показывает их недостаточность или некорректность, а сравнение актуальных нормативных документов – их противоречивость. В настоящей статье на основе результатов существующих научных работ вычислено, какова должна быть необходимая точность построения плановой разбивочной сети для строительства железнодорожной магистрали со скоростями движения до 400 км/ч. На основе анализа существующих различных нормативных документов, осуществляющих высокоскоростное железнодорожное сообщение стран, доказана корректность полученного результата. Исходя из полученных выводов, даны практические рекомендации о методах построения плановой разбивочной сети для строительства высокоскоростной магистрали и закрепления ее пунктов, позволяющих существенно снизить стоимость и трудоемкость работ по ее созданию. Показана несовершенство российской нормативной базы в области строительства таких объектов, а также направление дальнейших необходимых исследований в области геодезического обеспечения их строительства.

**Ключевые слова:** разбивочная сеть, строительство, геодезическое обеспечение, высокоскоростное движение, железнодорожная магистраль, точность измерений, методика измерений

### Введение

Высокоскоростное железнодорожное сообщение в Российской Федерации, представленное единственной линией Москва – Санкт-Петербург – Хельсинки, сегодня находится в стадии развития. Согласно [1], планируется реализация 20 проектов общей протяженностью 7 000 км, поэтому опыт разработки нормативных требований по геодезическому обеспечению строительства и эксплуатации таких линий в нашей стране невелик. Актуальные нормативные документы в этой сфере, например [2–6 и др.], устарели, в ряде случаев противоречат друг другу и обладают иными недостатками, которые затрудняют их практическое применение при проектировании и строительстве высокоскоростных железных дорог. Так, при разработке инженерно-геодезического обеспечения строительства в рамках проектирования высоко-

скоростной магистрали Москва – Казань в качестве основной нормативной базы использовался отраслевой стандарт Китайской Народной Республики [7]. Однако такой подход без комплексного анализа международной нормативной базы и ее согласованности с теоретическими основами точности геодезических измерений на высокоскоростных линиях, на наш взгляд, не является корректным, поэтому целью настоящей статьи является решение этой задачи.

### Методы и материалы

Наиболее полно теоретические основы расчета необходимой точности создания геодезической сети для высокоскоростных железнодорожных магистралей изложены в работе [8], где выполнено исследование допустимых отклонений пути от прямой, имеющих характер длинных волн. Учитывая, что такие отклонения при-

водят к нарушению проектной геометрии железнодорожной колеи при высоких скоростях движения, а их выявление с помощью геодезических измерений является одной из основных задач специальных реперных систем [9], такой критерий, на наш взгляд, возможно считать обоснованным.

В основу расчета положены скорости движения поездов 400 км/ч (максимальная эксплуатационная скорость на современных магистральных составляет 380 км/ч [10]), допустимое значение непогашенного поперечного ускорения  $0,2 \text{ м/с}^2$  (на отечественных и зарубежных высокоскоростных линиях для указанной скорости оно равно  $0,4\text{--}0,73 \text{ м/с}^2$  [10]) и скорость нарастания непогашенного поперечного ускорения  $0,3 \text{ м/с}^3$  (на отечественных и зарубежных высокоскоростных линиях для указанной скорости она равна  $0,28\text{--}0,40 \text{ м/с}^3$ ). Таким образом, результаты исследования возможно считать актуальными и соответствующими современным нормативным требованиям, что подтверждается использованием результатов указанной работы при разработке специальных технических условий проектирования высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань [11].

Выполненные в работе [8] расчеты показали, что предельно допустимой величиной отклонения оси железнодорожного пути от проектного положения является 30 мм при расстоянии между этими отклонениями не менее 300 м. Приняв указанную величину за предельную погрешность разбивочных работ, автор вычислил их средние квадратические погрешности измерений, а на их основе – средние квадратические погрешности положения пунктов разбивочной сети (15 и 7,5 мм соответственно). Однако для перехода от предельных погрешностей к средним квадратическим был использован коэффициент доверительной вероятности  $t = 2$ , тогда как в практике геодезических работ его, как правило, принимают равным 2,5–3 [12–14]. В работе [15] коэффициент  $t$  при решении практических задач рекомендуется принимать равным 2,5 и 3 – при теоретических расчетах. Учитывая это, результат полученных в [8] вычислений может оказаться заниженным.

Также следует отметить, что полученная величина 7,5 мм является средней квадратической

погрешностью положения некоторого пункта геодезической сети  $M$ . Следовательно, исходя из принципа равных влияний, его координаты должны быть определены со средними квадратическими погрешностями, не превышающими

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2};$$

$$m_x = m_y = m_{x(y)} = \frac{M}{\sqrt{2}} = 5,3 \text{ (мм)}, \quad (1)$$

где  $M$  – средняя квадратическая погрешность положения пункта;  $m_x, m_y$  – средние квадратические погрешности определения его координат.

Однако, на наш взгляд, полученное значение допустимого отклонения оси пути от проектного положения возможно считать лишь допуском для фактического положения рельсовых нитей в плане (т. е. допуском монтажных работ). В противном случае, принимая указанную величину за предельную погрешность разбивочных работ, ось пути после монтажа рельсошпальной решетки может быть отклонена от проектного положения более чем на 30 мм, так как к погрешностям геодезических измерений добавятся погрешности монтажных работ. Таким образом, возможно предположить, что полученный в работе [8] результат является неверным, и разбивочную сеть для строительства высокоскоростной магистрали необходимо создавать с другой точностью. Докажем верность этого предположения и покажем, какова должна быть эта точность.

Согласно [16], допускаемая погрешность  $\delta x_{met}$  измерения не должна превышать

$$\delta x_{met} \leq 0,2 \cdot \Delta x, \quad (2)$$

где  $\Delta x$  – допуск измеряемого геометрического параметра.

Тогда, исходя из допустимого отклонения оси пути от проектного положения, равного 30 мм, средняя квадратическая погрешность разбивочных работ при выносе на местность оси пути не должна превышать 6 мм. Координаты пунктов разбивочной сети при этом должны быть определены с точно-

стью в 2–3 раза большей. Как уже было отмечено выше, при решении практических задач геодезии этот коэффициент рекомендуется принимать равным 2,5 [15]. Исходя из этого значения, средняя квадратическая погрешность определения координат пунктов разбивочной сети не должна превышать 2,4 мм. При этом качество построения разбивочной сети должно обеспечивать выполнение всех видов геодезических работ с заданной нормативными документами точностью. Рассмотрим, каковы эти требования в разных странах.

Одной из наиболее обширных сетей высокоскоростных железных дорог, а также максимальной эксплуатационной скоростью движения поездов и опытом реализации их организации в сложных климатических условиях на сегодняшний день обладает Китай. Основным нормативным документом, регламентирующим порядок создания разбивочной сети, а также точность выполнения отдельных геодезических работ на высокоскоростных железнодорожных магистралях, является стандарт [7]. Вопросам разработки методик выполнения геодезических работ и их точности на таких объектах также посвящен ряд работ (например, [17–20] и др.).

Стандарт [7] определяет геодезическую основу для строительства и эксплуатации высокоскоростной железной дороги как четырехуровневое построение СР0 – СРIII, пункты которой в зависимости от класса сети расположены на расстоянии от 50 км (каркасная опорная сеть СР0) до 50 м (сеть железнодорожного пути СРIII) друг от друга. Наиболее жесткие требования к точности построения предъявляются к сети СРIII, предназначенной для разбивочных работ элементов верхнего строения пути и служащей геодезической основой для дальнейшей его эксплуатации. Средняя квадратическая погрешность взаимного положения смежных пунктов такой сети не должна превышать 1 мм, однако при этом под данной величиной понимается средняя квадратическая погрешность составляющих координат  $x$ ,  $y$ . Кроме требований к точности построения разбивочной сети стандарт устанавливает требования к точности отдельных геодезических работ при строительстве дороги. Наиболее жесткие

из них предъявляются к разбивке оси бетонного основания верхнего строения пути (3 мм), разбивке стрелочных переводов (5 мм) и разбивке оси пути (10 мм).

Сравнивая полученную по формуле (2) допустимую среднюю квадратическую погрешность определения координат пунктов разбивочной сети с приведенными требованиями, видим, что определяемая стандартом [7] точность разбивочной сети является избыточной, что вынуждает применять для ее построения дорогостоящие роботизированные тахеометры и измерительную оснастку. При этом полученная расчетным путем точность разбивочной сети позволяет выполнить разбивочные работы с погрешностями, не превышающими установленные значения.

На железных дорогах Германии применяется полностью смешанная организация высокоскоростного движения с максимальной скоростью движения до 300 км/ч, когда по существующим железнодорожным линиям осуществляется движение как высокоскоростных, так и обычных поездов [10]. Такая же схема организации используется сегодня и в Российской Федерации, но с меньшими скоростями, равными 250 км/ч. Вопросы строительства и эксплуатации железнодорожных магистралей с различными скоростями движения детально рассмотрены в книге [21], где на основе анализа используемых на сети железных дорог Deutsche Bahn AG нормативных документов изложены требования к точности определения координат пунктов разбивочной сети и отдельных разбивочных геодезических работ.

Геодезическая сеть для строительства и эксплуатации высокоскоростной железной дороги создается как четырехуровневое построение Punktstatus 1 – Punktstatus 4, пункты которого в зависимости от класса сети расположены на расстоянии от 1 км (Punktstatus 1) до 40 м (Punktstatus 4) друг от друга. Наиболее жесткие требования к точности построения предъявляются к сети Punktstatus 4, предназначенной для разбивочных работ на объектах с повышенными требованиями к точности. Погрешность определения плановых координат таких пунктов не должна превышать 5 мм, а их взаимного положения – 6 мм. Заметим, что эти коорди-

наты должны быть определены с вероятностью 68,26 % ( $t = 1$ ), т. е. указанные погрешности равны их предельным значениям. При разбивочных работах наиболее высокие требования предъявляются к точности разбивки стрелочных переводов и оси пути (5 мм) при относительной ошибке выноса оси пути, не превышающей 1 : 2 500.

Сравнивая полученную по формуле (2) допустимую среднюю квадратическую погрешность определения координат пунктов разбивочной сети с изложенными допусками, видим, что оба значения практически совпадают, а полученная расчетным путем точность разбивочной сети снова позволяет выполнять разбивочные работы с погрешностями, не превышаемыми установленные значения.

На российских железных дорогах основными нормативными документами, регламентирующими точность создания разбивочной сети, являются [2, 3]. Последний документ устанавливает разбивочную сеть (именуемую в документе «опорная геодезическая сеть») как двухуровневое построение, включающее главные и промежуточные пункты с расстояниями между ними 4–5 км и 250–750 м соответственно. При этом средние квадратические погрешности взаимного положения смежных пунктов независимо от их типа не должны превышать 8 мм. В своде правил [3] разбивочная сеть рассматривается как четырехуровневое построение, включающее каркасные, главные и промежуточные пункты, а также рабочие реперы. Средние квадратические погрешности взаимного положения смежных промежуточных пунктов не должны превышать 8 мм, а рабочих реперов – 5 мм. Заметим, что в отличие от уравнения (1) в документах указана средняя квадратическая погрешность взаимного положения смежных пунктов. В общем случае значение указанной величины будет зависеть от выбранного критерия, характеризующего ее точность. При решении прикладных геодезических задач в качестве такого критерия обычно используют горизонтальное расстояние  $S$  между пунктами (например, [22]).

$$S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2},$$

где  $x_1, x_2, y_1, y_2$  – плоские прямоугольные координаты смежных пунктов;  $\Delta x, \Delta y$  – приращения координат.

Тогда среднюю квадратическую погрешность этого расстояния можно вычислить по известной формуле оценки точности функций [13]

$$m_S = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial \Delta x}\right)^2 m_{\Delta x}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial \Delta y}\right)^2 m_{\Delta y}^2}, \quad (3)$$

где частные производные равны

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial S}{\partial \Delta x}\right) &= \frac{\Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} = \frac{\Delta x}{S}; \\ \left(\frac{\partial S}{\partial \Delta y}\right) &= \frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} = \frac{\Delta y}{S}. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив (4) в (3) и учитывая принцип равных влияний, получим

$$\begin{aligned} m_S &= \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{S}\right)^2 \cdot m_{\Delta x}^2 + \left(\frac{\Delta y}{S}\right)^2 \cdot m_{\Delta y}^2} = \\ &= \frac{m_{\Delta x(\Delta y)}}{S} \cdot \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = m_{\Delta x(\Delta y)}. \end{aligned}$$

В свою очередь  $m_{\Delta x(y)}$  с учетом принципа равных влияний также возможно вычислить по формуле (3). Учитывая, что  $\Delta x = x_2 - x_1$ ,  $\Delta y = y_2 - y_1$ , получим

$$\begin{aligned} m_{\Delta x(\Delta y)} &= m_{x(y)} \sqrt{2}; \\ m_{x(y)} &= \frac{m_S}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,5 \text{ (мм)}, \end{aligned}$$

т. е. координаты рабочих реперов должны быть определены со средними квадратическими погрешностями, не превышающими 3,5 мм.

Сравнивая полученную по формуле (2) допустимую среднюю квадратическую погрешность определения координат пунктов разбивочной сети с указанными допусками, видим, что установленная отечественными нормативными документами точность ниже вычисленной. Учитывая, что на российских желез-

ных дорогах скорости движения поездов свыше 250 км/ч не реализуются, это ожидаемо. При этом нормативные документы, устанавливающие точность отдельных геодезических работ на железной дороге, также не рассчитаны на движение со скоростями свыше 250 км/ч.

Таким образом, видим, что изложенные выше теоретические выкладки в достаточной степени подтверждаются требованиями нормативных документов, а созданная с вычисленной по формуле (2) точностью разбивочная сеть полностью обеспечивает выполнение всего комплекса строительно-монтажных работ.

### **Результаты**

Анализируя полученные результаты в целом, возможно сделать несколько основных выводов:

– средние квадратические погрешности определения плановых координат разбивочной сети для строительства железнодорожной магистрали со скоростями движения до 400 км/ч не должны превышать 2,4 мм, что в достаточной степени подтверждается требованиями нормативных документов различных стран;

– указанной точности возможно достичь обычным электронным тахеометром с угловой точностью 2–3" с закреплением пунктов сети пленочными отражателями [23], что позволит отказаться от применения дорогостоящих пунктов принудительного центрирова-

ния и призмных отражателей, снизив таким образом стоимость создания разбивочной сети;

– построение разбивочной сети с большей точностью (как это требует, например, стандарт [7]) приведет к необходимости использования дорогостоящих роботизированных тахеометров и специализированной измерительной оснастки, т. е. существенно увеличит стоимость работ по ее созданию. Построение сети с меньшей точностью не обеспечит безопасного движения поездов со скоростями до 400 км/ч;

– для строительства на территории Российской Федерации железных дорог со скоростями движения до 400 км/ч необходимо корректирование существующих нормативных документов с учетом полученных выше выводов.

### **Заключение**

Построение разбивочной сети с полученной в статье точностью не представляет существенных сложностей на сравнительно небольших по длине трассах. Однако железнодорожная магистраль представляет собой линейное сооружение протяженностью до нескольких тысяч километров. В таких условиях на точность конечного результата может оказывать существенное влияние принятая для создания системы координат картографическая проекция, поэтому в данной области необходимы дополнительные исследования.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации (утверждена протокольным решением заседания правления ОАО «РЖД» от 23 ноября 2015 г. № 43). – М., 2015. – 152 с.
2. Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане. Технические требования. – М. : ВНИИЖТ, 1998. – 29 с.
3. Свод правил СП 233.1326000.2015 Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная система. – М. : Минтранс России, 2015. – 75 с.
4. Ведомственные строительные нормы ВСН 208-89 Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог. – М. : Минтрансстрой СССР, 1990. – 120 с.
5. СНиП 11-02-96: свод правил СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Актуализированная редакция. – М. : Минстрой России, 2017. – 84 с.
6. Свод правил СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1998. – 71 с.
7. National standart of the people's republic of China TB 10601-2009 Code for engineering survey of hi-speed railway. – China Railway 2nd Engineering Group Co., Ltd., 2010 – 146 p.

8. Коугия В. А., Богомолова Е. С., Верещагин С. Г. и др. Геодезическая сеть для высокоскоростной магистрали // Геодезия и картография. – 1997. – № 1. – С. 12–16.
9. Денисов А. В., Рыжик Е. А. Реперная система как способ геодезического обеспечения пути // Мир транспорта. – 2015. – № 6. – С. 206–215.
10. Морозова О. С. Параметры криволинейных участков трассы высокоскоростных железнодорожных магистралей для условий совмещенного движения : дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2020. – 202 с.
11. Специальные технические условия. Проектирование участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург со скоростями движения до 400 км/ч. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 113 с.
12. Лесных Н. Б. Законы распределения случайных величин в геодезии : монография. – Новосибирск : СГГА, 2005. – 129 с.
13. Маркузе Ю. И. Основы уравнильных вычислений. – М. : Недра, 1990. – 240 с.
14. Большаков В. Д., Маркузе Ю. И., Голубев В. В. Уравнивание геодезических построений. – М. : Недра, 1989. – 413 с.
15. Большаков В. Д. Теория ошибок наблюдений с основами теории вероятностей. – М. : Недра, 1965. – 184 с.
16. ГОСТ Р 58941–2020. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. – М. : Стандартинформ, 2020. – 16 с.
17. Chenlong L., Youtao Y., Iaozuo X. Simulated determination of accuracy requirement for control points III intersection networks in hi-speed railway // Journal of south jiatong university. – 2008. – Vol. 43, No. 6. – P. 718–723.
18. Wang H., Yang F., Gao J. Established Method of High-Speed Railway Survey Control Network // Matec Web of conference. – 2017. – Vol. 124(1). – P. 01001. – DOI 10.1051/mateconf/201712401001.
19. Chen Q., Niu X., Zuo L. et al. A Railway Track Geometry Measuring Trolley System Based on Aided INS // Sensors. – 2018. – Vol. 18. – P. 538. – DOI 10.3390/s18020538.
20. Chen C., Zhang X., Chen K., Shang J. Quality Control and Management in Data Production Process of High-speed Railway Settlement Observation // Journal of Management and Strategy. – 2011. – Vol. 2, No. 4. – P. 26–34. – DOI 10.5430/jms.v2n4p26.
21. Möser M., Müller G., Shlemmer H., Werner H. Handbuch Ingenieurgeodäsie – Heidelberg : Wichmann, 2000. – 455 p.
22. Неумывакин Ю. К., Перский М. И. Земельно-кадастровые геодезические работы. – М. : КолосС, 2006. – 184 с.
23. Канашин Н. В. Применение способа боковых пунктов для повышения точности съемочной сети при мониторинге инженерных сооружений // Геодезия и картография. – 2020. – № 11. – С. 2–8.

### Об авторах

*Николай Владимирович Канашин* – кандидат технических наук, доцент.

Получено 27.10.2022

© Н. В. Канашин, 2023

### About accuracy of the setting-out network for the construction of a high-speed railway

*N. V. Kanashin<sup>1</sup>\**

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation

\* e-mail: nikolay\_kanashin@mail.ru

**Abstract.** Geodetic support for the construction and operation of high-speed railway lines requires high-precision geodetic work both at the construction stage and during the operation of the facility. The geodetic setting-out network, being the basis for the construction of the highway, requires special care and high measurement accuracy for its creation. An analysis of the studies performed in this area shows their insufficiency or incorrectness, and a comparison of current regulatory documents shows their inconsistency. In this article it is calculated on the basis of the results of existing scientific works what should be the required accuracy of

building a planned setting-out network for the construction of a railway with speeds up to 400 km/h. The correctness of the result obtained has been proved based on the analysis of existing regulatory documents of various countries providing high-speed rail communication. Based on the findings, practical recommendations on methods for constructing a planned setting-out network for the construction of a high-speed railway and fixing its points are given, which can significantly reduce the cost and labor intensity of work on its creation. The imperfection of the Russian regulatory framework in the field of construction of such facilities as well as the direction of further necessary research in the field of geodetic support for their construction are shown.

**Keywords:** setting-out network, construction, geodetic support, high-speed traffic, railway, measurement accuracy, measurement technique

## REFERENCES

1. The program for the organization of high-speed and high-speed railway communication in the Russian Federation. (2015). Approved by the protocol decision of the meeting of the Board of Russian Railways of November 23, 2015 No. 43). Moscow, 152 p. [in Russian].
2. Special reference system for monitoring the state of the railway track in profile and plan: Technical requirements. (1998). Moscow: Railway Research Institute of JSC Russian Railways Publ., 29 p. [in Russian].
3. Code of Practice. (2015). SP 233.1326000.2015. Railway infrastructure. High precision coordinate system. Moscow: Ministry of Transport of Russia Publ., 75 p. [in Russian].
4. Departmental building codes VSN 208-89. (1990). Engineering and geodetic surveys of railways and highways. Moscow: USSR Ministry of Transport Construction Publ., 120 p. [in Russian].
5. Constructions Norms and Regulations. (2017). SNiP 11-02-96: set of rules SP 47.13330.2016. Engineering surveys for construction. Updated edition. Moscow: Ministry of Construction of Russia Publ., 84 p. [in Russian].
6. Code of Practise. (1998). SP 11-104-97. Engineering and geodetic surveys for construction. Moscow: PIIS Gosstroy of Russia Publ., 71 p. [in Russian].
7. National standart of the people's republic of China TB 10601-2009. (2010). Code for engineering survey of hi-speed railway. China Railway 2nd Engineering Group Co., Ltd., 146 p.
8. Kougia, V. A., Bogomolov, E. S., Vereshchagin, S. G., & et al. (1997). Geodetic network for a high-speed railway. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 1, 12–16 [in Russian].
9. Denisov, A. V., & Ryzhik, E. A. (2015). Reference system as a method of geodesic provision of the path. *Mir transporta [World of Transport]*, 6, 206–215 [in Russian].
10. Morozova, O. S. (2020). Parameters of curved sections of the route of high-speed railway lines for conditions of combined traffic. *Candidate's thesis*. St. Petersburg, 202 p. [in Russian].
11. Special Technical Rules. (2016). Design of the Moscow-Kazan section of the high-speed railway line Moscow-Kazan-Yekaterinburg with speeds up to 400 km/h. St. Petersburg: Petersburg State University of Communications of Emperor Alexander I Publ., 113 p. [in Russian].
12. Lesnykh, N. B. (2005). *Zakony raspredeleniia sluchainykh velichin v geodezii [Laws of distribution of random variables in geodesy]*. Novosibirsk: SSGA publ., 129 p. [in Russian].
13. Marcuse, Yu. I. (1990). *Osnovy uravnitel'nykh vychislenii [Fundamentals of adjustment]*. Moscow: Nedra Publ., 240 p. [in Russian].
14. Bol'shakov, V. D., Markuse, Yu. I., & Golube, V. V. (1989). *Uravnivanie geodezicheskikh postroenii [Equalization of geodesic structures]*. Moscow: Nedra Publ., 413 p. [in Russian].
15. Bolshakov, V. D. (1965). *Teoriia oshibok nabliudenii s osnovami teorii veroiatnostei [Theory of measurments errors with the basics of probability theory]*. Moscow: Nedra Publ., 184 p. [in Russian].
16. Standards Russian Federation. (2020). GOST R 58941-2020. System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Rules for performing measurements. Moscow: Standartinform Publ., 16 p. [in Russian].
17. Chenlong, L., Youtao, Y., & Iaozuo, X. (2008). Simulated determination of accuracy requirement for control points III intersection networks in hi-speed railway. *Journal of South Jiatong University*, 43(6), 718–723.
18. Wang, H., Yang, F., & Gao, J. (2017). Established Method of High-Speed Railway Survey Control Network. *MATEC Web of Conference*, 124(1), P. 01001. doi: 10.1051/mateconf/201712401001.
19. Chen, Q., Niu, X., Zuo, L., & et al. (2018). A Railway Track Geometry Measuring Trolley System Based on Aided INS. *Sensors*, 18, P. 538. doi:10.3390/s18020538.

20. Chen, C., Zhang, X., Chen, K., & Shang, J. (2011). Quality Control and Management in Data Production Process of High-speed Railway Settlement Observation. *Journal of Management and Strategy*, 2(4), 26–34. doi:10.5430/jms.v2n4p26.

21. Möser, M., Müller, G., Shlemmer, H., & Werner, H. (2000). *Handbuch Ingenieurgeodäsie*. Heidelberg: Wichmann, 455 p.

22. Neumyvakin, Yu. K., & Persky, M. I. (2006). *Zemel'no-kadastrovyе geodezicheskie raboty [Land-cadastral geodetic works]*. Moscow: KolosS Publ., 184 p. [in Russian].

23. Kanashin, N. V. (2020). Application of the method of side points to improve the accuracy of the survey network in monitoring engineering structures. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 11, 2–8 [in Russian].

#### Author details

*Nikolay V. Kanashin* – Ph. D., Associate Professor.

Received 27.10.2022

© *N. V. Kanashin*, 2023