

УДК 528.1

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-16-27

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ОШИБОК ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Анатолий Геннадьевич Неволин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: agentagn@mail.ru

Татьяна Михайловна Медведская

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: mtm2112@yandex.ru

В статье рассмотрен вопрос учета погрешностей исходных данных при оценке точности определения координат пунктов, используемых при геодезических наблюдениях за деформациями сушильных агрегатов, обжиговых печей и другого технологического оборудования. Исследуемые объекты имеют сложную конструкцию, эксплуатируются в условиях высоких температур и вибрации. В связи с этим наблюдения за деформациями рассматриваемого технологического оборудования являются достаточно сложной геодезической задачей. В процессе геодезического мониторинга часто используются угловые и линейные засечки, позволяющие определять координаты станций для наблюдения за деформациями объектов. Точность полученных результатов во многом зависит от разного рода ошибок. При построении опорных инженерно-геодезических сетей обычно принимают, что исходные пункты являются безошибочными. Однако пункты опорной геодезической сети также могут иметь ошибки, связанные с погрешностями угловых и линейных измерений. В статье приводится методика и пример расчета ошибок исходных данных при определении места положения электронного тахеометра с помощью линейно-угловых построений. Полученные результаты доказывают, что для более полного анализа точности линейно-угловых геодезических построений целесообразно учитывать влияние погрешностей исходных данных на уравненные элементы и, в том числе, на координаты определяемых пунктов. По результатам экспериментальных вычислений установлено, что пренебрегая ошибками исходных данных при определении геометрических параметров технологического оборудования, можно получить некачественные данные в процессе геодезического мониторинга.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, анализ точности измерений, ковариационная матрица координат, эллипс ошибок, учет ошибок исходных данных, угловая засечка, линейная засечка.

Введение

При создании инженерно-геодезических построений часто принимают, что исходные пункты являются безошибочными. Однако пункты исходной геодезической сети также имеют ошибки, обусловленные погрешностями угловых и линейных измерений.

Для более полного анализа точности построения линейно-угловых геодезических сетей целесообразно учитывать влияние погрешностей исходных данных на уравненные элементы и, в том числе, на координаты определяемых пунктов.

Подобные вопросы и их решения неоднократно освещались в научных публикациях [1–18] и др.

Ранее в статье [1] был рассмотрен учет влияния погрешностей исходных данных в угловых построениях, используемых при геодезическом мониторинге крупногабаритных агрегатов, таких как обжиговые печи, барабанные сушилки и другое технологическое оборудование. Такое оборудование имеет значительные размеры, эксплуатируется в условиях высоких температур и вибрации. Поэтому наблюдения за деформациями рассматриваемых объектов являются неотъемлемой и важной задачей для выверки их технического состояния и обеспечения безопасной эксплуатации.

При геодезическом мониторинге крупногабаритных агрегатов в условиях ограниченного количества направлений на исходные пункты, целесообразно использовать не только угловые, но и линейные засечки, позволяющие определять координаты станций для наблюдения за деформациями. При этом возникает вопрос о влиянии разного рода ошибок и, в том числе, погрешностей исходных данных на точность координат определяемых пунктов или станций для измерения геометрических параметров оборудования.

Методика определения ошибок исходных данных

Как известно, координаты пункта P (рис. 1), определяемые из однократной линейной засечки, могут быть вычислены по следующим формулам:

$$x_P = x_B - \frac{k_1(x_B - x_A) - k_2(y_B - y_A)}{c}; \quad (1)$$

$$y_P = y_B - \frac{k_1(y_B - y_A) + k_2(x_B - x_A)}{c}, \quad (2)$$

где

$$c = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}; \quad (3)$$

$$k_1 = \frac{c^2 + b^2 - a^2}{2c}; \quad (4)$$

$$k_2 = \sqrt{b^2 - k_1^2}. \quad (5)$$

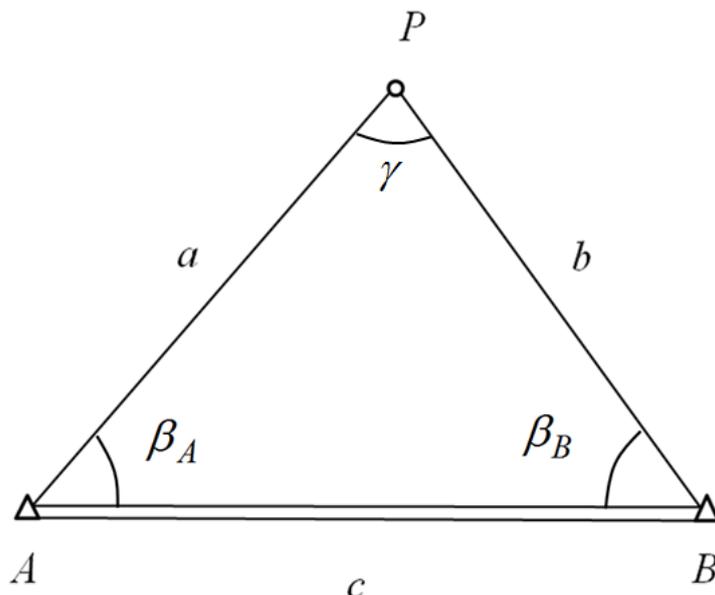


Рис. 1. Элементы линейно-угловой засечки

Здесь A и B – исходные пункты, координаты которых x_A, y_A и x_B, y_B не без-
ошибочны; a и b – длины измеряемых линий; β_A, β_B – измеряемые углы;
 γ – угол при определяемом пункте P .

Известно, что оценка точности линейной засечки с учетом влияния слу-
чайных ошибок измерений может быть выполнена по следующей формуле:

$$M_P = \frac{ab}{2T} \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{P_0(P_0 - a)(P_0 - b)(P_0 - c)}}, \quad (6)$$

где M_P – ошибка положения пункта P , определяемого однократной линейной
засечкой;

T – знаменатель относительной ошибки измерения линий;

P_0 – полупериметр;

$$P_0 = \frac{a + b + c}{2}. \quad (7)$$

Для более полной оценки точности следует рассмотреть влияние погрешно-
стей исходных данных. Обычно ошибки исходных данных устанавливаются в хо-
де уравнивания и анализа точности опорной инженерно-геодезической сети.

Учет влияния ошибок исходных данных в однократной линейной засечке
можно выполнить на основе ковариационной матрицы. Пусть известна кова-
риационная матрица $K_{4 \times 4}$ координат исходных пунктов в данном построении
(см. рис. 1)

$$K_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} m_{x_A}^2 & & & \\ & m_{y_A}^2 & & \\ & & m_{x_B}^2 & \\ & & & m_{y_B}^2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где элементы по главной диагонали этой матрицы представляют квадраты погрешностей координат исходных пунктов. Тогда влияние этих погрешностей на координаты определяемого пункта P можно определить по формуле

$$K_{2 \times 2}^{u.\partial.} = U_{2 \times 4} K_{4 \times 4} U_{4 \times 2}, \quad (9)$$

где $K_{2 \times 2}^{u.\partial.}$ – ковариационная матрица искомым оценок для линейной засечки;
 $U_{2 \times 4}$ – оператор преобразования, который имеет вид:

$$U_{2 \times 4} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_P}{\partial x_A} & \frac{\partial x_P}{\partial y_A} & \frac{\partial x_P}{\partial x_B} & \frac{\partial x_P}{\partial y_B} \\ \frac{\partial y_P}{\partial x_A} & \frac{\partial y_P}{\partial y_A} & \frac{\partial y_P}{\partial x_B} & \frac{\partial y_P}{\partial y_B} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Для упрощения дальнейших выводов примем, что $a = b$. Тогда

$$k_1 = \frac{c}{2}; \quad k_2 = c\sqrt{\frac{3}{4}}.$$

С учетом этого матрица $U_{2 \times 4}$ для линейной засечки примет вид:

$$U_{2 \times 4} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\sqrt{\frac{3}{4}} & \frac{1}{2} & \sqrt{\frac{3}{4}} \\ \sqrt{\frac{3}{4}} & \frac{1}{2} & -\sqrt{\frac{3}{4}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}.$$

В результате преобразования в соответствии с (9) запишем элементы искомой матрицы $K_{2 \times 2}^{u.\partial.}$ в общем виде

$$K_{2 \times 2}^{u.\partial.} = \begin{bmatrix} M_{x_P}^2 & M_{x_P y_P}'' \\ & M_{y_P}^2 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где M_{x_P} , M_{y_P} – ошибки координат определяемого пункта P , обусловленные погрешностями исходных данных; $M_{x_P y_P}''$ – ковариационный момент

$$\left. \begin{aligned} M_{x_P}^2 &= 0,25(m_{x_A}^2 + m_{x_B}^2) + 0,75(m_{y_A}^2 + m_{y_B}^2) \\ M_{y_P}^2 &= 0,75(m_{x_A}^2 + m_{x_B}^2) + 0,25(m_{y_A}^2 + m_{y_B}^2) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Ковариационный элемент матрицы (11) определяется по следующей формуле:

$$M_{xy_P}'' = 0,433(m_{x_A}^2 - m_{y_A}^2 + m_{y_B}^2 - m_{x_B}^2). \quad (13)$$

Таким образом, общая ошибка положения пункта P , за счет погрешностей исходных данных, составит

$$M_{P_{u.д.}} = \sqrt{m_{x_A}^2 + m_{x_B}^2 + m_{y_A}^2 + m_{y_B}^2}. \quad (14)$$

Если принять, что $m_{x_A} = m_{y_A} = m_{x_B} = m_{y_B} = m_{AB}$, то

$$M_{x_P} = M_{y_P} = m_{AB} \sqrt{2}. \quad (15)$$

Тогда общие влияния погрешностей исходных данных на точность определения координат пункта в линейной засечке составят

$$M_{P_{u.д.}} = 2m_{AB}. \quad (16)$$

В этом случае средний квадратический эллипс ошибок, обусловленный влиянием погрешностей исходных данных, превращается в круг ошибок.

Параметры среднего квадратического эллипса ошибок, обусловленного влиянием погрешностей исходных данных, могут быть вычислены по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} A^2 &= \frac{1}{2}(M_{x_P}^2 + M_{y_P}^2 + \sqrt{(M_{x_P}^2 - M_{y_P}^2)^2 + 4M_{xy_P}''^2}) \\ B^2 &= \frac{1}{2}(M_{x_P}^2 + M_{y_P}^2 - \sqrt{(M_{x_P}^2 - M_{y_P}^2)^2 + 4M_{xy_P}''^2}) \\ \operatorname{tg} 2\varphi &= \frac{M_{xy_P}''}{M_{x_P}^2 - M_{y_P}^2} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где A и B – полуоси среднего квадратического эллипса ошибок; φ – дирекционный угол большой полуоси A эллипса погрешностей.

Полученные формулы можно использовать для расчета ошибок исходных данных и учета их влияния на координаты определяемого пункта в линейной засечке.

Далее рассмотрим действие ошибок в прямой угловой засечке.

Координаты пункта P (см. рис. 1), определяемого из решения однократной прямой угловой засечки, можно вычислить по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta_B + x_B \operatorname{ctg} \beta_A - y_A + y_B}{N} \\ y_P &= \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_B + y_B \operatorname{ctg} \beta_A + x_A - x_B}{N} \end{aligned} \right\}, \quad (18)$$

где $N = \operatorname{ctg} \beta_A + \operatorname{ctg} \beta_B$.

Как известно, влияние случайных ошибок угловых измерений в данном построении, выражается следующей формулой:

$$M_P = \frac{m_\beta''}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (19)$$

где m_β'' – ошибка измерения углов на исходных пунктах A и B ; γ – угол при определяемом пункте P .

Для учета влияния погрешностей исходных данных, установленных в ковариационной матрице $K_{4 \times 4}$ (8), определим элементы преобразующей матрицы $U_{2 \times 4}$ (10). После дифференцирования выражения (18) по исходным данным оператор преобразования для угловой засечки примет вид

$$U_{2 \times 4} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} \operatorname{ctg} \beta_B & -1 & \operatorname{ctg} \beta_A & 1 \\ 1 & \operatorname{ctg} \beta_B & -1 & \operatorname{ctg} \beta_A \end{bmatrix}. \quad (20)$$

В результате перемножения матриц по общему алгоритму (9) получим следующие формулы для учета влияния погрешностей исходных данных в прямой угловой засечке:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_P}^2 &= \frac{1}{N^2} (m_{x_A}^2 \operatorname{ctg}^2 \beta_B + m_{x_B}^2 \operatorname{ctg}^2 \beta_A + m_{y_A}^2 + m_{y_B}^2) \\ M_{y_P}^2 &= \frac{1}{N^2} (m_{y_A}^2 \operatorname{ctg}^2 \beta_B + m_{y_B}^2 \operatorname{ctg}^2 \beta_A + m_{x_A}^2 + m_{x_B}^2) \end{aligned} \right\}, \quad (21)$$

где $M_{x_P}^2$, $M_{y_P}^2$ – диагональные элементы ковариационной матрицы $K_{2 \times 2}^{u.d.}$ (11), представляющие квадраты ошибок положения пункта P , обусловленные погрешностями исходных пунктов в угловой засечке.

Элемент M''_{xy} , составляющий ковариационную матрицу (11), в этом случае равен

$$M''_{xy} = \frac{1}{N^2} (m_{x_A}^2 \operatorname{ctg} \beta_B - m_{y_A}^2 \operatorname{ctg} \beta_B - m_{x_B}^2 \operatorname{ctg} \beta_A + m_{y_B}^2 \operatorname{ctg}^2 \beta_A). \quad (22)$$

При равных значениях ошибок исходных данных получим

$$M_{x_P} = M_{y_P} = \frac{m_{AB}}{N} \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \beta_A + \operatorname{ctg}^2 \beta_B + 2}. \quad (23)$$

Формулы (21)–(23) можно использовать для расчета ошибок исходных данных и учета их влияния на координаты определяемого пункта в прямой угловой засечке.

Экспериментальные вычисления

Вышеприведенные формулы апробированы при геодезическом мониторинге обжиговой печи, выполняемом на АО «Искитимцемент» (рис. 2).



Рис. 2. Вращающаяся печь обжига в АО «Искитимцемент»

В качестве исходных данных для геодезических измерений, выполняемых с помощью электронного тахеометра, использовалась линейно-угловая сеть, закрепленная марками на стенах сооружений, бетонных опорах и конструкциях (рис. 3). Методика создания и закрепления опорной геодезической сети для мониторинга обжигowych печей подробно рассмотрена в техническом отчете по данному объекту, а также в научных статьях [5, 11, 14] по геодезической выверке таких агрегатов.



Рис. 3. Способы закрепления опорной геодезической сети

Настенные марки, представляющие светоотражающие пленки, служат для передачи координат на земную поверхность методом так называемой «свободной» станции.

Место положения тахеометра для измерения геометрических параметров обжиговой печи в таких условиях определялось методом обратной угловой или, при ограниченной видимости, линейной засечкой от точек опорной сети, которая содержит некоторые ошибки, называемые погрешностями исходных данных.

Рассчитаем действие случайных ошибок, а также погрешностей исходных марок и определим их влияние на координаты определяемого пункта в линейной засечке.

Пусть точность измерения длин сторон засечки равна $T = 20\ 000$, кроме того, примем $a = b = 20$ м, $c = 30$ м, тогда ошибка положения пункта P , обусловленная случайными погрешностями измерений и вычисленная по формуле (6), равна $M_P = 0,8$ мм.

Полагая, что ошибки исходных пунктов равны 2 мм [11], влияние этих ошибок (16) на положение пункта P , определяемого линейной засечкой, составит $M_{P_{и.д.}} = 4$ мм.

Отметим, что влияние погрешностей исходных данных на координаты пункта, определяемого линейной засечкой, является существенным по сравнению с действием случайных ошибок измерений.

Используя те же числовые значения, что и в предыдущем примере, рассмотренном для линейной засечки, вычислим влияние случайных ошибок в угловой засечке по формуле (19) и получим $M_P = 0,1$ мм. При этом влияние погрешностей исходных данных на положение пункта P , вычисленное по формуле (23), составило $M_{x_P} = 4$ мм.

Полученная величина ошибки 4 мм сопоставима с точностью определения геометрических параметров обжиговой машины. Такая точность по результатам исследования в [14] находится в пределах 0,5–3,9 мм.

Заключение

В итоге априорной оценки точности линейно-угловых построений следует отметить, что пренебрегая ошибками исходных данных при определении геометрических параметров технологического оборудования, можно получить некорректные результаты в процессе геодезического мониторинга.

Проведенные экспериментальные вычисления показали, что ошибки исходных данных могут иметь значительную величину и оказывать существенное влияние на точность определения геометрических параметров обжиговых печей.

Полученные формулы можно использовать для расчета ошибок исходных данных и учета их влияния на координаты определяемых пунктов в линейной и прямой угловой засечках.

Следует отметить, что для более строгого решения и получения надежных результатов по учету влияния ошибок исходных данных целесообразно учитывать все элементы ковариационной матрицы координат исходных пунктов, не ограничиваясь только элементами ее главной диагонали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Неволин А. Г., Медведская Т. М. Влияние ошибок исходных данных на точность определения геометрических параметров крупногабаритного технологического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (г. Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 13–19.
2. Асташенков Г. Г. Геодезические работы при эксплуатации крупногабаритного промышленного оборудования. – М. : Недра, 1986. – 151 с.
3. Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования / А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова, В. А. Середович, А. В. Середович, Г. Н. Ткачева, С. С. Студенков // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 12–14.
4. Поклад Г. Г., Гриднев С. П. Геодезия : учеб. пособие для вузов. – М. : Академический проект, 2007. – 592 с.
5. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.
6. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–19.
7. Жуков Б. Н. Роль, теория и практика геодезического контроля технического состояния зданий и сооружений // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 11–17.
8. Никонов А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 43–54.
9. Фолькер Швигер, Ли Чжан, Йорген Швейцер. Оценка качества инженерно-геодезических работ в строительстве // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 3 (16) – С. 25–45.

10. Хорошилов В. С. Оптимизация выбора методов и средств геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 117–125.
11. Точность определения геометрических параметров вращающихся агрегатов при «холодной» выверке / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, А. В. Середович, А. А. Лунев // Материалы международной научной конференции «Современные технологии и развитие политехнического образования» (г. Владивосток, 14–18 сентября 2015 г.). – Научное электронное издание ФГАОУ ВПО «ДВФУ», 2015. – С. 245–249.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
13. Уставич Г. А. Геодезия. В 2-х кн. Кн. 1: учебник для вузов. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 352 с.
14. Исследование методов определения геометрических параметров вращающихся агрегатов по данным лазерного сканирования / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, А. В. Иванов, А. В. Середович, Е. К. Лагутина, А. В. Мартынов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 89–107.
15. Горяинов И. В. Экспериментальные исследования применения обратной линейно-угловой засечки для оценки стабильности пунктов плановой деформационной геодезической сети // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 28–39.
16. Асташенков Г. Г., Барлиани А. Г., Колмогоров В. Г. Коррелятная версия уравнивания и оценки точности геодезических сетей с равноточно измеренными величинами методом псевдооптимизации // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 52–65.
17. Kai Zheng, Yun Zhang, Lei Liu, Chen Zhao. An Online Straightness Deviation Measurement Method of Rotary Kiln Cylinder // Tehnički vjesnik. – 2017. – № 24 (5). – P. 1297–1305. DOI: doi.org/10.17559/TV-20150426160032.
18. Kai Zheng, Yun Zhang, Chen Zhao, Lei Liu. Rotary Kiln Cylinder Deformation Measurement and Feature Extraction Based on EMD Method // Engineering Letters. – 2015. – No. 23 (4). – P. 283–291.

Получено 16.11.2018

© А. Г. Неволин, Т. М. Медведская, 2019

THE PROBLEM OF INITIAL DATA ERRORS INFLUENCE ON THE DETERMINATION ACCURACY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT GEOMETRIC PARAMETERS

Anatoly G. Nevolin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: agentagn@mail.ru

Tatiana M. Medvedskaya

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: mtm2112@yandex.ru

The article deals with the problem of initial data errors registration in estimating the accuracy of coordinate points determination used in geodetic observations for the deformation in drying aggregates, kilns, and in other technological equipment. The investigated objects are of a complex de-

sign, and they operate in the conditions of high temperatures and vibration, that's why observations for the technological equipment deformation are a rather complicated geodetic problem. In the process of geodetic monitoring, angular and linear intersections are often used in order to determine the marks coordinates fixed on the objects being observed. The received results accuracy depends greatly on various kinds of errors. In establishing geodetic reference networks initial data are considered to be without any errors. However, geodetic reference networks points may involve some errors due to angular and linear measurements. In the article the authors present the technique and example of the initial data errors calculation. The received data prove, that in order to make a complete analysis of the precise establishment of linear – angular geodetic networks it is better to take into account initial data error influence on the defined points coordinates. The results of experimental calculations show that the neglect of initial data errors in defining the technological equipment geometrical parameters results in poor quality data in the process of geodetic monitoring.

Key words: geodetic monitoring, measurements accuracy analysis, covariance matrix of coordinates, errors ellipse, initial data errors registration, angular notch, linear notch.

REFERENCES

1. Nevolin, A. G., & Medvedskaya, T. M. (2016). Influence of initial data errors on large-size equipment geometric parameters determination accuracy. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 13–19). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
2. Astashenkov, G. G. (1986). *Geodezicheskie raboty pri ehkspluatacii krupnogabaritnogo promyshlennogo oborudovaniya [Geodetic works in the process of large-size industrial equipment operation]*. Moscow: Nedra Publ., 151 p. [in Russian].
3. Komisarov, A. V., Komisarov, D. V., Shirokova, T. A., Seredovich, V. A., Seredovich, A. V., Tkachyova, G. N., & Studenkov, S. S. (2006). Monitoring of structures deformations in combination with 3-d modeling technology. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 6, 12–14 [in Russian].
4. Poklad, G. G., & Gridnev, S. P. (2007). *Geodeziya [Geodesy]*. Moscow: Akademicheskij proekt Publ., 592 p. [in Russian].
5. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., & Frolov, I. S. (2013). Geodetic monitoring and of the metallurgical equipment adjustment. *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 132–143). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
6. Nikonov, A. V. (2013). Some peculiarities of modern surveying instruments application in the process of observations for buildings and structures sediment and deformation of power generating objects. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 4(24), 12–19 [in Russian].
7. Zhukov, B. N. (2006). Rol, theory, and practice of geodetic control of buildings and other types of structures technical state. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 11, 11–117 [in Russian].
8. Nikonov, A. V. (2015). Investigation of distance measurement accuracy with electron tachometer in a non-reflection mode. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(29), 43–54 [in Russian].
9. Folker Shviger, Li Zhang, & Yurgen Schweitzer. (2011). Assessment of engineering and geodetic works quality in the process of building. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 3(16), 25–45 [in Russian].

10. Horoshilov, V. S. (2006). Optimization of the geodetic support methods and techniques in the process of technological equipment installation. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 11, 117–125 [in Russian].
11. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., Seredovich, A. V., & Lunev, A. A. (2015). Accuracy of rotating aggregates geometrical parameters determination in "cold" adjustment. In *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: Sovremennye tekhnologii i razvitie politekhnicheskogo obrazovaniya [Proceedings of the International Scientific Conference: Modern Technologies and Development of Polytechnical Education]* (pp. 245–249). Vladivostok: FGAOU VPO "DVFU" [in Russian].
12. Korn, G., & Korn, T. (1974). *Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [Reference book on mathematics for scientists and engineers]*. Moscow: Nauka Publ., 832 p. [in Russian].
13. Ustavich, G. A. (2012). *Geodeziya: Kn. 1 [Geodesy: Books 1]*. Novosibirsk: SSGA Publ. 352 p. [in Russian].
14. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., Ivanov, A. V., Seredovich, A. V., Lagutina, E. K., & Martynov, A. V. (2018). Research of rotating aggregates geometrical parameters determination methods on the basis of laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 89–107 [in Russian].
15. Goryainov, I. V. (2018). Pilot studies of linear - angular resection application for point stability estimation in horizontal deformation geodetic network. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 28–39 [in Russian].
16. Astashenkov, G. G., Barliani, A. G., & Kolmogorov, V. G. (2016). The correlation version of geodetic networks adjustment and accuracy estimation with equally - accurate measured values through pseudo-optimization method. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 52–65 [in Russian].
17. Kai Zheng, Yun Zhang, Lei Liu, & Chen Zhao. (2017). An Online Straightness Deviation Measurement Method of Rotary Kiln Cylinder. *Tehnički Vjesnik*, 24(5), 1297–1305. doi: doi.org/10.17559/TV-20150426160032.
18. Kai Zheng, Yun Zhang, Chen Zhao, & Lei Liu. (2015). Rotary Kiln Cylinder Deformation Measurement and Feature Extraction Based on EMD Method. *Engineering Letters*, 23(4), 283–291.

Received 16.11.2018

© A. G. Nevolin, T. M. Medvedskaya, 2019