

### Список цитированных источников

1. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М.: Стройиздат – 1980. – С. 535.
2. Ковалев, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов / Я.Н. Ковалев. – Мн.: Новое знание. – 2012. – С. 284.
3. Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Test methods. EN 13396–1:2002: Part I. Measurement of chloride ion ingress by Diffusion of repair mortars and concretes.
4. Concrete, Hardened, Accelerated Chloride Penetration: NT BUILD 492:94.
5. Resistance of concrete to chloride ingress – From Laboratory tests to in-field performance – Report, project № GRD1-202-71808-CHLORTEST – January 2003-December 2005. – 273 p.
6. Тур, В.В. Методы испытания проницаемости бетона в хлоросодержащих средах в соответствии с требованиями европейских стандартов / В.В. Тур, В.Н. Плосконовов, В.М. Добрунова, А.В. Замировский. – Мн.: СтройМедиаПроект. – 2013. – С.179-198.
7. Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady State Migration Experiments: NT BUILD 492:99.
8. Способ определения диффузионной проницаемости бетона: пат. 2269777 Российская Федерация / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, Д.Ю. Фёдоров; заявл. 10.02.2006.

УДК 528.486.3.

**Каракулов Ю.Т.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Крючкова Л.С.**

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СПОСОБОВ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

Целью настоящей исследовательской работы являлось анализирование и сравнение точности различных способов разбивочных работ.

Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта.

На точность разбивочных работ влияют погрешности из-за центрирования прибора и визирных целей ( $m_{Ц}$ ), погрешности фиксации точки на местности или конструкции сооружения ( $m_{Ф}$ ), погрешности собственно разбивочных работ ( $m_{РР}$ ), которые зависят от геометрии способа разбивки, а также погрешности исходных данных ( $m_{ИСХ}$ ), зависящие от точности определения координат геодезической разбивочной основы. При этом погрешности  $m_{ИСХ}$  и  $m_{Ц}$  определяются и геометрией способа разбивки. С учетом этого общая погрешность разбивки ( $m_{Р}$ ) определится суммой всех перечисленных выше погрешностей в вероятностном её выражении:

$$m_{Р} = \sqrt{m_{РР}^2 + m_{ИСХ}^2 + m_{Ц}^2 + m_{Ф}^2}. \quad (1)$$

Выполним оценку каждого из слагаемых формулы (9.31) в зависимости от геометрии способа разбивки. При этом рассмотрим здесь только четыре основных способа разбивки, наиболее часто используемых при проведении указанных работ: способ прямой угловой засечки; способ обратной угловой засечки; способ линейной засечки; способ полярных координат.

В **способе прямой угловой засечки** погрешность собственно разбивочных работ оценивается по одной из равнозначных формул, вынос проектной точки способами прямой и обратной угловых засечек:

$$m_{PP} = m_{\beta} (b / \rho \cdot \sin \gamma) \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}; \quad (2)$$

$$m_{PP} = m_{\beta} (1 / \rho \cdot \sin \gamma) \sqrt{s_1^2 + s_2^2}; \quad (3)$$

где  $m_{\beta}$  – средняя квадратическая погрешность построения углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ;

$\rho'' = 206265''$  – число секунд в радиане;

$s$  – расстояния от исходных пунктов до точки;

$\gamma$  – угол при точке.

При симметричных построениях, а также при предварительных оценках, можно принимать  $s_1 = s_2 = s$ . Тогда

$$m_{PP} \approx m_{\beta} (\sqrt{2} / \rho \cdot \sin \gamma) s. \quad (4)$$

Погрешность исходных данных определяется суммарной погрешностью в положении исходных пунктов  $A$  и  $B$  ( $m_A$ ;  $m_B$ ). Часто принимают значения  $m_A = m_B = m_{AB}$ , исходя из равнозначности построения геодезической основы в пределах локальной зоны, т.е. сравнительно близкого расположения данных исходных точек в общей системе построения опорной сети. Тогда, с учётом геометрии разбивки,

$$m_{ИСХ} = m_{AB} / \sin \gamma \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2} = (m_{AB} / b) \sqrt{s_1^2 + s_2^2}. \quad (5)$$

Принимая для приближённых расчетов  $s_1 = s_2 = s$  и  $\gamma = 90^\circ$ , получим

$$m_{ИСХ} \approx (m_{AB} \sqrt{2} / b) s. \quad (6)$$

По аналогичным формулам определяют и погрешность центрирования теодолита в точках  $A$  и  $B$  и используемых визирных целей, последовательно устанавливаемых в тех же точках:

$$m_{Ц} = 1 / \sin \gamma \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2} = l / b \sqrt{s_1^2 + s_2^2}, \quad (7)$$

где  $l$  – линейный элемент центрирования, определяемый несовпадением вертикальной оси вращения теодолита (визирной цели) с вершиной угла в соответствующей точке либо с положением самой исходной точки (для визирных целей).

Если визирные цели не используются, т.е. наведение производится непосредственно на исходную точку, то

$$m_{Ц} = 1 / 2 \sin \gamma \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2} = l / 2b \sqrt{s_1^2 + s_2^2}, \quad (8)$$

Часто для предварительных оценок принимают  $s_1 = s_2 = s$ . В этом случае при использовании визирных целей  $m_{Ц} = l (s/b) \sqrt{2}$ , а при работе без визирных целей –  $m_{Ц} = l (s / b \sqrt{2})$ .

В **способе обратной угловой засечки** погрешность собственно разбивочных работ определяется по формуле

$$m_{PP} = (m_{\beta} d_1 / \rho \cdot \sin (\beta_1 + \beta_2 + \omega)) \sqrt{(d_2/b_1)^2 + (d_3/b_2)^2}. \quad (9)$$

Общая погрешность влияния исходных данных для приближённых оценок определяется по формуле

$$m_{ИСХ} = (m_{ABC} / \sin t) \cdot (S / b) \sqrt{4 + \cos t}, \quad (10)$$

где  $m_{ABC}$  – погрешность построения пунктов геодезической разбивочной основы;

$t = (\beta_1 + \beta_2 + \omega - 180^\circ)$ ;

$S$  и  $b$  – средние значения сторон и базисов разбивки.

В **способе линейной засечки** практически во всех случаях полагают, что точность  $m_s$  отложения расстояний является одинаковой для  $s_1$  и  $s_2$ , что для симметричных построений при примерном равенстве этих расстояний вполне допустимо. В этом случае погрешность собственно разбивочных работ может быть оценена по формуле

$$m_{PP} = m_s \sqrt{2} / \sin \gamma . \quad (11)$$

Очевидно, что максимальная точность будет обеспечена при  $\gamma = 90^\circ$ , т.е. в этом случае

$$m_{PP} = m_s \sqrt{2} .$$

Влияние погрешности исходных данных при  $m_A = m_B = m_{AB}$  получается из отношения

$$m_{ИСХ} = m_{AB} / \sin \gamma , \quad (12)$$

а при  $\gamma = 90^\circ$   $m_{ИСХ} = m_{AB}$ .

Если для построения расстояний используются оптические дальномеры либо светодальномеры или электронные тахеометры, то обязательно необходимо учитывать в этом способе погрешность центрирования, которая здесь может быть оценена по формуле

$$m_{Ц} = l / \sin \gamma , \quad (13)$$

а при  $\gamma = 90^\circ$   $m_{Ц} = l$ .

В **способе полярных координат** погрешность собственно разбивочных работ зависит от погрешности  $m_\beta$  построения угла и погрешности  $m_s$  построения расстояния:

$$m_{PP} = \sqrt{m_s^2 + (m_\beta / \rho)^2 s^2} . \quad (14)$$

Из практического опыта известно, что погрешность построения угла (в линейной форме) меньше, чем погрешность построения расстояния, т.е.  $(m_\beta / \rho) s < m_s$ . В связи с этим применять в формуле (14) принцип равных влияний нецелесообразно. В расчётах обычно используют коэффициент

$$\lambda = (m_s / m_\beta) \cdot (\rho / s) , \quad (15)$$

принимая его значение равным 2-3 единицам. С учетом (15) формулу (14) можно записать в виде

$$m_{PP} = m_s \sqrt{(\lambda^2 + 1) / \lambda^2} = m_\beta (s / \rho) \sqrt{\lambda^2 + 1} . \quad (16)$$

Влияние погрешностей исходных данных при  $m_A = m_B = m_{AB}$  и погрешностей центрирования оцениваются по формулам:

$$m_{ИСХ} = m_{AB} \sqrt{1 + \left(\frac{s}{b}\right)^2 - \left(\frac{s}{b}\right) \cos \beta} , \quad (17)$$

$$m_{Ц} = l \sqrt{1 + \left(\frac{s}{b}\right)^2 - \left(\frac{s}{b}\right) \cos \beta} . \quad (18)$$

Из формул (17) и (18) следует, что для ослабления влияния погрешностей исходных данных и погрешностей центрирования отношение  $s/b$  должно быть минимальным, а угол  $\beta$  должен быть меньше прямого. То есть базис разбивки должен быть больше проектного расстояния.

При приближённых расчётах принимают  $\beta = 90^\circ$  и  $s = b$ . Тогда  $m_{ИСХ} = m_{AB} \sqrt{2}$  и  $m_{Ц} = l \sqrt{2}$ .

Необходимая точность разбивочных работ определяется техническим заданием, и для исполнителя работ указанная точность построения проектных точек является безусловно обязательной, поскольку техническое задание утверждается заказчиком работ и

согласовывается с исполнителем этих работ. В связи с этим исполнитель должен определить, какими приборами в том и другом способах разбивки он сможет обеспечить заданную точность построений непосредственно на местности. Рассмотрим решение указанной задачи для некоторых рассмотренных выше способов.

Значения точностных характеристик геодезических приборов входят как аргумент в формулы погрешностей собственно разбивочных работ ( $m_{PP}$ ). Выразим в формуле (1) значение  $m_{PP}$  через другие погрешности, обозначив общую погрешность разбивки, определенную техническим заданием, через  $m_{ТЗ}$ :

$$m_{PP} = \sqrt{m_{ТЗ}^2 - m_{ИСХ}^2 - m_{Ц}^2 - m_{Ф}^2}. \quad (19)$$

С учетом формулы (2) для **способа прямой угловой засечки** можно записать условие выбора угломерного прибора для обеспечения заданной точности построения проектной точки:

$$m_{\beta} \leq \rho \cdot \sin \gamma \sqrt{(m_{ТЗ}^2 - m_{ИСХ}^2 - m_{Ц}^2 - m_{Ф}^2) / (s_1^2 + s_2^2)}. \quad (20)$$

причем погрешность исходных данных и погрешность центрирования предварительно вычисляются соответственно по формулам (5) и (7).

Из аналогичных преобразований для **способа обратной угловой засечки** получим

$$m_{\beta} \leq (\rho \cdot \sin (\beta_1 + \beta_2 + \omega)) / d_1 \sqrt{(m_{ТЗ}^2 - m_{ИСХ}^2 - m_{Ц}^2 - m_{Ф}^2) / \left(\frac{d_2}{b_1}\right)^2 + \left(\frac{d_3}{b_2}\right)^2}, \quad (21)$$

для **способа линейной засечки** без учета погрешности центрирования

$$m_s \leq \sin \gamma \sqrt{(m_{ТЗ}^2 - m_{ИСХ}^2 - m_{Ф}^2) / 2} \quad (22)$$

и с учетом погрешности центрирования

$$m_s \leq \sin \gamma \sqrt{(m_{ТЗ}^2 - m_{ИСХ}^2 - m_{Ц}^2 - m_{Ф}^2) / 2} \quad (23)$$

В формулах (21) – (23) значения погрешностей исходных данных и погрешностей центрирования предварительно вычисляют по формулам, приведенным выше для указанных способов разбивки.

При оценках выбора технических средств для построения проектных точек **способом полярных координат** обычно сначала выбирают углоизмерительный прибор, точность которого должна удовлетворять условию:

$$m_{\beta} \leq \rho / s \sqrt{(m_{ТЗ}^2 - m_{ИСХ}^2 - m_{Ц}^2 - m_{Ф}^2) / (\lambda^2 + 1)}. \quad (24)$$

Значения  $m_{ИСХ}$  и  $m_{Ц}$  здесь определяют по формулам (17) и (19).

После выбора углоизмерительного прибора по формуле (15) выполняют оценку допустимой погрешности построения расстояния:

$$m_s \leq \lambda (m_{\beta} / \rho) s, \quad (25)$$

**Разбивочными элементами** являются углы, расстояния, превышения, которые непосредственно строят на местности для получения проектного положения точек или линий сооружаемого объекта. В качестве примера рассмотрен следующий чертёж:

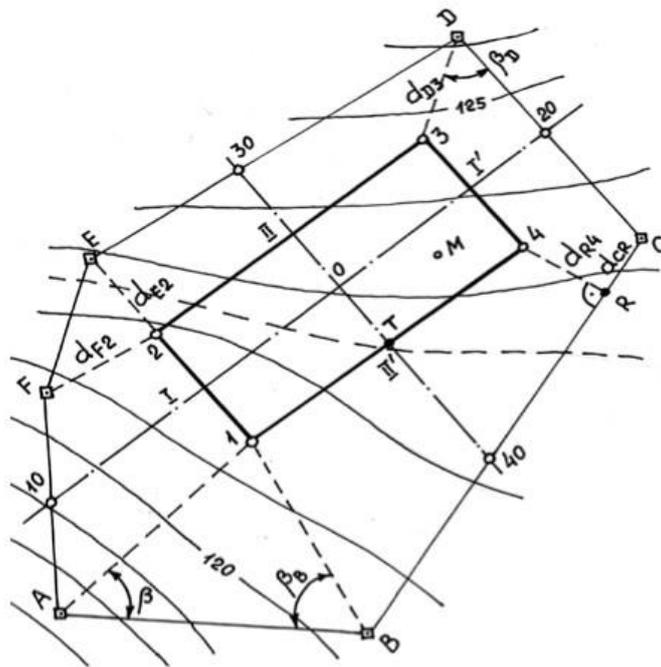


Рисунок 1 – Разбивочный чертёж

На местности имеется геодезическая основа  $A-B-C-D-E-F$  (см. рис. 1) с известными координатами  $X, Y, H$ , заданными в местной системе координат (табл. 1). Необходимо вынести на местность углы 1, 2, 3 и 4 прямоугольного контура с размерами сторон  $d_{12} = d_{34} = 30,000$  м и  $d_{23} = d_{41} = 75,000$  м, а также выполнить разбивку главных осей  $I-I'$  и  $II-II'$  сооружения.

С топографического плана (проекта сооружения) получены следующие проектные величины:

координаты центра сооружения:  $X_0 = 3730,000$  м;  $Y_0 = 7180,000$  м;  
 дирекционный угол направления главной оси  $I-I'$   $\alpha_1 = 67^\circ 30'$ .

Пункты основы	X, м	Y, м	Пункты основы	X, м	Y, м
A	3673,681	7112,241	D	3774,576	7217,639
B	3662,429	7166,522	E	3750,263	7132,405
C	3734,968	7237,400	F	3722,592	7121,946

При составлении геодезического проекта разбивочных работ с учётом взаимного расположения контура сооружения и геодезической основы принято следующее решение:

точку 1 вынести способом прямой угловой засечки с точек  $A$  и  $B$  основы;

точку 2 вынести способом линейной засечки с точек  $E$  и  $F$  основы;

точку 3 вынести способом полярных координат с точки  $D$  основы от исходного направления  $DC$ ;

Из решения обратных геодезических задач находим дирекционные углы и горизонтальные проложения исходных направлений геодезической основы (табл. 2).

Таблица 2 – Расчётные данные дирекционных углов и горизонтальных проложений

Направление	Дирекционный угол	Горизонтальное проложение, м	Направление	Дирекционный угол	Горизонтальное проложение, м
AB	$101^\circ 42' 40''$	55,435	DE	$254^\circ 04' 45''$	88,634
BC	$44^\circ 20' 11''$	101,418	EF	$200^\circ 42' 20''$	29,582
CD	$333^\circ 29' 05''$	44,264	FA	$191^\circ 13' 23''$	49,864

На этом заканчиваются подготовительные расчётные работы, после чего можно вычислить значения разбивочных элементов.

Таблица 3 – Результаты определения координат проектных точек

Проектные точки	X, м	Y, м	Проектные точки	X, м	Y, м
10	3704,463	7118,348	1	3701,791	7151,095
20	3750,555	7229,624	2	3729,507	7139,614
30	3760,264	7167,465	3	3758,208	7208,905
40	3692,233	7195,644	4	3730,492	7220,386

### Вычисление разбивочных элементов для точек 1, 2, 3 и 4.

**Точка 1.** Выносится на местность способом прямой угловой засечки построением горизонтальных углов  $\beta_A$  и  $\beta_B$  в точках А и В. Горизонтальные углы (разбивочные элементы) определяются как разность дирекционных углов соответствующих направлений:

$$\beta_A = \alpha_{AB} - \alpha_{A1}; \quad \beta_B = \alpha_{B1} - \alpha_{BA} . \quad (26)$$

Из решения обратной геодезической задачи  $\alpha_{A1} = 54^\circ 06' 54''$ ;  $\alpha_{B1} = 338^\circ 35' 55''$ .

Следовательно,  $\beta_A = 101^\circ 42' 40'' - 54^\circ 06' 54'' = 47^\circ 35' 46''$ ;  $\beta_B = 338^\circ 35' 55'' - 291^\circ 42' 40'' = 46^\circ 53' 15''$ .

**Точка 2** выносится на местность способом линейной засечки с точек Е и F расстояниями  $s_{E2}$  и  $s_{F2}$ . Из решения обратной геодезической задачи горизонтальные проложения  $d_{E2} = 21,972$  м;  $d_{F2} = 18,973$  м. Превышения  $h_{2-E} = -1,00$  м;  $h_{2-F} = +1,30$  м. Следовательно,  $s_{E2} = 21,995$  м и  $s_{F2} = 19,017$  м.

**Точка 3** выносится на местность способом полярных координат с точки D от исходного направления DC ( $\alpha_{DC} = 153^\circ 29' 05''$ ). Разбивочными элементами являются горизонтальное проложение  $d_{D3}$  (наклонное расстояние  $s_{D3}$ ) линии D3 и горизонтальный угол в точке D ( $\beta_D$ ).

Из решения обратной геодезической задачи дирекционный угол  $\alpha_{D3} = 208^\circ 05' 04''$ ; горизонтальное проложение  $d_{D3} = 18,552$  м. Превышение  $h_{3-D} = 124,65 - 126,05 = -1,40$  м.

Горизонтальный угол  $\beta_D = \alpha_{D3} - \alpha_{DC} = 208^\circ 05' 04'' - 153^\circ 29' 05'' = 54^\circ 35' 59''$ . Наклонное расстояние  $s_{D3} = 18,605$  м.

**Точка 4** выносится на местность способом прямоугольных координат наклонными отрезками  $s_{CR}$  (по линии CB) и  $s_{R4}$  (по перпендикуляру к линии CB).

Горизонтальные проложения  $d_{CR}$  и  $d_{R4}$  указанных отрезков найдем из решения системы уравнений

$$X_4 = X_C + d_{CR} \cos \alpha_{CB} + d_{R4} \cos \alpha_{R4}, \quad Y_4 = Y_C + d_{CR} \sin \alpha_{CB} + d_{R4} \sin \alpha_{R4}, \quad (27)$$

где  $\alpha_{CB} = 224^\circ 20' 11''$ ;  $\alpha_{R4} = \alpha_{CB} + 90^\circ = 314^\circ 20' 11''$ .

После подстановки в уравнения(27) всех известных величин получим  $d_{CR} = 15,092$  м,  $d_{R4} = 9,041$  м. С топографического плана получим высоту точки R  $H_R = 122,90$  м.

Следовательно,  $h_{R-C} = -0,45$  м,  $h_{4-R} = +0,45$  м. Наклонные расстояния  $s_{CR} = 15,099$  м,  $s_{R4} = 9,052$  м.

После выноса на местность точек 1, 2, 3 и 4 выполняют контрольные промеры расстояний 1-2, 2-3, 3-4 и 4-1 с определением соответствующих горизонтальных проложений и сравнивают полученные значения с проектными. Кроме того, в точках 1, 2, 3 и 4 измеряют теодолитом проектные горизонтальные углы ( $90^\circ$ ). Контрольным измерением для прямоугольника является проверка длин его диагоналей 1-3 и 2-4, если прямоугольник располагается на выровненной площадке.

Заданная точность выноса проектных точек 1, 2, 3, и 4 сооружения  $m_{ТЗ} = 10$  мм;  $l = 1,5$  мм;  $m_{\phi} = 2$  мм; погрешность в координатах исходных пунктов  $m_A = m_B = m_{AB} = 5$  мм.

#### **Способ прямой угловой засечки (точка 1).**

Приближённые (для оценки) значения:  $s_1 = 48,0$  м;  $s_2 = 43,1$  м;  $b = 56,3$  м;  $\gamma = 85^\circ$ .

Погрешность исходных данных – формула (5) –  $m_{исх} = 5,7$  мм; погрешность центрирования – формула (7) –  $m_{ц} = 1,7$  мм; допустимая погрешность построения угла – формула (20) –  $m_{\beta} \leq 25''$ . Целесообразно использовать для разбивки теодолит отечественного производства Т15 либо зарубежного точностью 20''.

#### **Способ линейной засечки (точка 2).**

Приближённые (для оценки) значения:  $s_1 = 22,0$  м;  $s_2 = 19,0$  м;  $b = 28,8$  м;  $\gamma = 88,9^\circ$ .

Погрешность исходных данных – формула (12) –  $m_{исх} = 5,0$  мм; допустимая погрешность построения расстояния – формула (22) –  $m_s \leq 6$  мм. Относительная средняя квадратическая погрешность для худших условий составит  $\delta \leq (m_s / s_{max}) = 1 / 3600$ .

Практически такую точность обеспечит рулетка Р50 1-го или 2-го класса точности.

#### **Способ полярных координат (точка 3).** Коэффициент $\lambda = 2$ .

Приближённые (для оценки) значения:  $s = 18,6$  м;  $b = 44,3$  м;  $\beta = 54^\circ 36'$ . Погрешность исходных данных – формула (17) –  $m_{исх} = 4,8$  мм; погрешность центрирования – формула (18) –  $m_{ц} = 1,4$  мм; допустимая погрешность построения угла – формула (24) –  $m_{\beta} \leq 42''$ .

Для работы выбираем теодолит Т30. Допустимая погрешность построения расстояния – формула (25) –  $m_s \leq 7,6$  мм (при этом обеспечивается некоторый запас точности, поскольку точность теодолита почти в полтора раза превышает необходимую точность построения угла). Относительная средняя квадратическая погрешность составит  $\delta \leq (7,6 / 18600) = (1 / 2500)$ . Практически такую точность обеспечит любая рулетка.

#### **Вывод**

Разбивочные работы – это комплексный взаимосвязанный процесс, являющийся неотъемлемой частью строительного-монтажного производства. Поэтому организация и технология разбивочных работ, целиком зависит от этапов строительства. Требования к точности разбивочных работ зависят от многих факторов: вида, назначения, местоположения сооружения; размеров сооружения и взаимного расположения его частей; материала из которого возводится сооружение; порядка и способа производства строительных работ; технологических особенностей эксплуатации и др. Нормы точности на разбивочные работы задаются в проекте или нормативных документах: строительных нормах и правилах (СНиП), ведомственных инструкциях.

Зная требования к точности разбивочных работ, сравнили с ними результаты проведенной работы можно сделать следующий вывод: при соблюдении всех требований и, имея в наличии определенные геодезические приборы и инструменты (теодолит 2Т30П, 4Т15П, дальномерные комплекты, рулетки), работы можно выполнить с достаточной точностью. А при наличии электронного тахеометра, выполнение разбивочных работ значительно упрощается, время сокращается, а точность их выполнения резко возрастает.

#### **Список цитированных источников**

1. Геодезические работы в строительстве. Правила проведения: ТКП 45-1.03-26-2006. – Мн.: Минархстрой РБ, 2006. – 66 с.
2. Курс инженерной геодезии / Под ред. д.т.н., проф. В.Е. Новака. – Москва, 1989.
3. Инженерная геодезия: учебник / В.П. Подшивалов, М.С. Нестеренок. – Минск: Выш. шк., 2011. – 463 с.: ил.