

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-3.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/76TVN317.pdf>

Статья опубликована 15.06.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гафиатулин Х.Г., Новоселов О.Г. Решения геодезической задачи обратного преобразования плоских прямоугольных и полярных координат, определяемых системой чисел из одной сети в другую посредством проекции условно вспомогательной системы координат // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/76TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 528.063.1

Гафиатулин Харбиль Галимович¹

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Набережночелнинский институт (филиал), Россия, Набережные Челны²
Старший преподаватель
E-mail: HGGafiatulin@kpfu.ru

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/H-4481-2016>

Новоселов Олег Геннадьевич

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Набережночелнинский институт (филиал), Россия, Набережные Челны
Старший преподаватель
E-mail: Shi-set@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=797664

Решения геодезической задачи обратного преобразования плоских прямоугольных и полярных координат, определяемых системой чисел из одной сети в другую посредством проекции условно вспомогательной системы координат

Аннотация. Статья посвящена решению геодезической задачи преобразования прямоугольных и полярных координат на плоскости посредством (методом) проекции условно вспомогательной системы координат. Актуальность темы вызвана наличием и многообразием различных, как государственных, так и региональных систем координат. В статье раскрывается проблема решения задачи преобразования координат не зависимо от исходных систем координат (прямоугольная, полярная) на плоскости позволяет по единой формуле и программе осуществить перевод систем. В данной статье впервые рассмотрен вопрос преобразование координат методом проекции условно вспомогательной системы (УВС) координат, получаемых путем многократного разворота осей координат во взаимной увязке с полярными координатами. Составлена общая схема и получены формулы обратного перевычисления прямоугольных и полярных координат на плоскости от одной системы в другую. Составлен алгоритм решения перевода методом условно вспомогательной системы координат в программе Microsoft Excel. Данная программа и формулы перевода методом УВС координат

¹ Google академия: https://scholar.google.ru/citations?view_op=list_works&hl=ru&user=LouwJqoAAAAJ

² 423807, г. Набережные Челны, ГЭС, (Старый город), б-р Ямашева, 33 (9/10), УЛК-3

очень удобны и позволяют легко и быстро выполнить преобразование координат по исходным данным; либо известным прямоугольным, либо известным полярным координатам по единой формуле и программе.

Ключевые слова: Microsoft Excel; алгоритм перехода; полярная система координат; преобразование координат; прямоугольная система координат; система координат; схема преобразования координат

Актуальность и причины возникновения необходимости преобразования координат связаны с наличием и многообразием различных систем координат в России, как государственных: (СК-42), (СК-63), (ПЗ-95), (ГЗК), так и региональных МСК (местных) систем. В данной статье рассмотрим вопрос решения задачи обратного перевычисления прямоугольных и полярных координат на плоскости из одной системы в другую посредством проекции условно вспомогательной системы (УВС) координат с использованием заранее известных параметров перехода. Задача преобразования плоских прямоугольных координат из одной системы в другую на практике может иметь место в следующих основных случаях:

- переход координат от одной государственной системы в другую;
- наличие разбивочной геодезической основы в одной системе координат, проектного разбивочного чертежа в другой системе координат;
- привязка условных систем плоских прямоугольных координат к государственной геодезической сети и наоборот;
- переход от одной локальной системы к другой;
- переход из одной зоны в другую зону;
- ведение земельного кадастра и отвод земельных участков;
- разбивка осей зданий и сооружений, инженерных сетей;
- разбивка мостовых переходов, плотин;
- ведение исполнительного генплана в местной системе координат МСК отличной от других систем;
- перевод полярных координат из одной системы прямоугольных координат в другую.

Современное строительство крупных жилых и промышленных комплексов, инженерных сетей и дорог предполагает создание на строительной площадке специальной геодезической планово-высотной основы в виде строительной сетки. Строительную сетку проектируют и создают как отдельную планово-высотную сеть в виде квадратов или прямоугольников. Положение пунктов и направление линии сторон строительной сетки проектируют параллельно основным осям жилых, промышленных объектов, зданий и сооружений независимо от государственной геодезической сети. В больших массивах на отдельных участках, такие строительные сетки могут быть созданы в нескольких вариантах в соответствии с физико-географическими условиями местности и иными требованиями проектирования. На этих участках проектирование и плановая привязка осей зданий и сооружений ведется в различных системах координат, отличающихся друг от друга расположением начальных точек координатной системы, разворотом осей координатной сетки и т.д. Для взаимной их увязки, решения инженерных задач на практике, постоянно возникает задача перерасчета, то есть преобразование координат из одной системы в другую. Положение

любой точки на плоскости может быть задано системой чисел (координат); однозначно определяющих положение данной точки среди множества других точек. Прямоугольная система координат на плоскости образует две ортогональные прямые; ось абсцисс OX и ось ординат OY , пересекающиеся в точке начала координат, а также множество точек этой координатной системы. Масштабы по осям координат равны. Положение точки на плоскости также может быть задано и в полярной системе координат, где положение точки определяется горизонтальным расстоянием S от полюса до данной точки и углом α между полярной осью и направлением на данную точку $B(S, \alpha)$. Схема системы перевода координат представлена на рисунке 1. Алгоритм вывода стандартных формул перевода координат двухступенчатый; вначале точку B проецируют на оси координатной системы UOV , далее полученные координаты проекции точки $B(u, v)$ вновь проецируют на оси прямоугольных координат XOY .

Для определения координат XB и YB (система XOY) вычислим длину отрезка $XB = a + \Delta X$, где $\Delta X = OM - MN$, $OM = UB \cos \alpha_1$, $MN = VB \sin \alpha_1$ и длину отрезка $YB = b + \Delta Y$, и где $\Delta Y = OP + PR$, $OP = UB \sin \alpha_1$, $PR = VB \cos \alpha_1$ проведя математические операции подстановки получим стандартные формулы двойной проекции преобразования прямоугольных плоских координат из одной системы координат в другую систему.

$$XB = a + UB \cos \alpha_1 - VB \sin \alpha_1 \quad (1)$$

$$YB = b + UB \sin \alpha_1 + VB \cos \alpha_1 \quad (2)$$

где: a и b - сдвиг начала координат, α_1 - угол поворота координатных осей двух систем (параметры перевода), m - отношение длин линии двух систем (масштабный коэффициент), UB - проекция точки $B(u, v)$ на ось OU , VB - проекция точки $B(u, v)$ на ось OV .

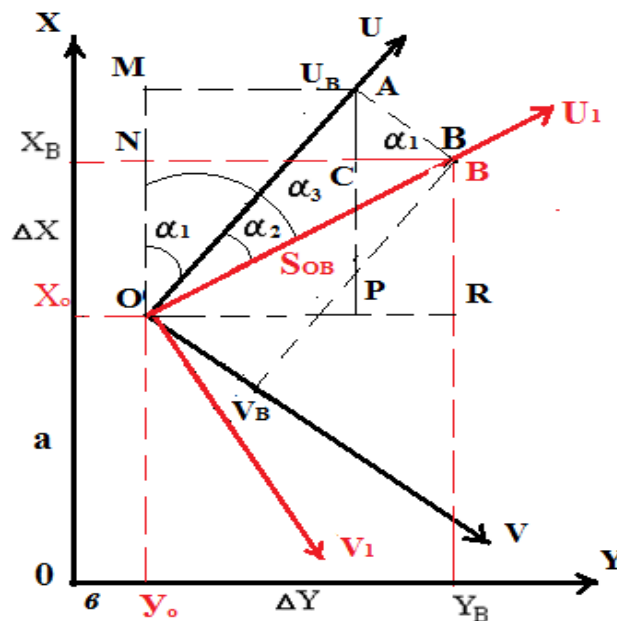


Рисунок 1. Схема преобразования координат [5]

Таким образом мы получили простые и наиболее часто применяемые математические формулы преобразования системы координат на плоскости.

При точно известных математических параметрах создания МСК и небольших участках, можно с достаточной точностью получить координаты перевода. Однако при иных условиях погрешности преобразования координат по этим формулам при удалении от начальной точки более 15 км могут достигать до нескольких десятков сантиметров. Для устранения искажений

материалов преобразования координат, в случаи необходимости, применяют другие развернутые формулы преобразования, позволяющие обеспечить точность перевода до 0.001 м [5]. Если при производстве полярной съемки во внимание брать только ошибки измерения линий m_s и ошибки измерения углов m_b , то ошибка планового положения точки будет определяться формулой:

$$m_{cp} = \sqrt{m_s^2 + \left(\frac{m_b}{p} S\right)^2} \quad (3)$$

где: m_{cp} - ошибка планового положения точки, m_s - ошибка измерения линии, m_b - ошибка измерения угла. При измерениях электронным тахеометром Focus 6 на расстояния до 200 метров получим ошибку планового положения не более $m_{cp} = 0.005$, которая в свою очередь будет влиять на точность полученных координат перевода.

Для получения формулы перевода посредством УВС координат поступим так; пусть дана координата точки $B(u,v)$ в прямоугольной системе координат UOV необходимо получить координаты $B(x,y)$ в системе XOY . На первом этапе определим полярные координаты точки $B(s,\alpha)$. За полярную ось возьмем направление OU - ось абсцисс условной системы координат (UOV) и выполним следующие действия; соединим начало условной системы координат - UOV и точку - B прямой линией и получим отрезок - S_{OB} . Из прямоугольного треугольника OAB следует:

$$S_{OB} = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

$$tg\alpha_2 = V/U \quad (5)$$

Используя полученные формулы (4), (5) вычислим значения - S_{OB} и α_2 , т.е. полярные координаты этой точки. Далее осуществим разворот условной прямоугольной системы координат - UOV на угол α_2 по направлению линии - S_{OB} , в результате получим еще одну условно вспомогательную систему прямоугольных плоских координат - U_1OV_1 , в которой положение точки - B остается неизменным, но меняются его координаты (6) и (7), а угол поворота относительно координатной системы XOY составит (8).

$$U_B = S_{OB} \quad (6)$$

$$V_B = 0 \quad (7)$$

$$\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (8)$$

Вставив полученные формулы (6), (7) и (8) в формулы (1) и (2) получим формулы обратного перевычисления прямоугольных координат на плоскости из одной системы в другую для данной точки B посредством (методом) проекции условно вспомогательной системы (УВС) координат получим (8) и (9).

$$X_B = a + S_{OB} m \cos \alpha_3 \quad (9)$$

$$Y_B = b + S_{OB} m \sin \alpha_3 \quad (10)$$

Или в общем виде получим следующие формулы:

$$X_i = a + S_i m \cos \alpha_i \quad (11)$$

$$Y_i = b + S_i m \sin \alpha_i \quad (12)$$

где: S_i , α_i - условные полярные координаты точки $B(S_i, \alpha_i)$, S_i - расстояние от начала координат до данной точки, α_i - угол поворота вспомогательной системы - U_iOV_i относительно координатной системы XOY $\alpha_i = \alpha_1 + \alpha_2$, m - масштабный коэффициент. В частном случае, при $a=0$ и $b=0$, а $m=1$ получим следующие формулы:

$$X_i = S_i \cos \alpha_i \quad (13)$$

$$Y_i = S_i \sin \alpha_i \quad (14)$$

На практике часто встречаются случаи, когда множество точек полярных координат, полученных в результате тахеометрической съемки в одной прямоугольной системе координат, необходимо преобразовать в другую систему прямоугольных координат на плоскости. Алгоритм преобразования прямоугольных и полярных координат на плоскости, получаемых путем многократного разворота осей координат в системе UOV во взаимной увязке с полярными координатами точек определены, как преобразование координат методом проекции условно вспомогательной системы (УВС) координат.

Для вычислительных работ данной задачи - преобразования координат и облегчения вычислительного процесса используем программу **Microsoft Excel**. Откроем электронную таблицу **Microsoft Excel** лист 2 переименуем - «исх. коорд». В ней составим таблицу 1 для ввода исходных данных; либо полярных, либо прямоугольных координат точек. Лист 1 переименуем - «преобр_коорд» для расчетов преобразованных координат. Составим следующий алгоритм решения перевода координат, используя для вычислений полученные формулы (10) и (11) и представленный в таблице 2:

- в строку 1 импортируем исходный параметр **a**;
- в строку 2 импортируем исходный параметр **b**;
- в строку 3 при наличии импортируем исходную координату **UB**;
- в строку 4 при наличии импортируем исходную координату **VB**;
- в строку 5 импортируем масштабный множитель **m**;
- в строку 6 в отдельные ячейки импортируем численные значения градус, минут, секунд - угла поворота α_1 систем координат UOV относительно XOY ;
- в строку 7 в отдельные ячейки импортируем численные значения градус, минут, секунд - при наличии полярного угла α_2 в исходных данных;
- в строке 8 при необходимости вычисляем $\text{tg } r = V/U$ - румба полярного угла α_2 ;
- в строке 9 вычисляем румб полярного угла в радианах;
- в строке 10 вычисляем румб полярного угла в градусах;
- в строках 9-15 представлена программа разветвляющегося алгоритма определения полярного угла α_2 в зависимости от знаков координат **UB** и **VB**.

Более подробно данная часть программы (строки 1-14) представлена в работе [6].

- в строке 15 вычислен окончательный элемент полярных координат α_2 в градусах, минутах и секундах в системе координат UOV точки **B**;
- в строке 16 в случае необходимости вычисляется **Si** элемент полярных координат;
- В строке 17 вычислен угол разворота систем в долях градуса **α_1 (градус)**;
- В строке 18 вычислен полярный угол точки **B** системы координат UOV в долях градуса **α_2 (градус)**;
- В строке 19 вычислен угол поворота УВС координат относительно системы XOY в долях градуса **α_3 (градус)**;
- в строке 20 получаем преобразованную координату **X_i** ;

- в строке 21 получаем преобразованную координату Y_i .

Исходные данные для преобразования координат, первая строка представляет вариант, когда даны прямоугольные координаты точки B , вторая строка, когда даны полярные координаты.

Таблица 1

Исходные данные для преобразования координат (составлено автором)

№ зад	a	b	m	UB	VB	Si	Угол разворота осей систем коорд. α			Полярный угол поворота точки α_2		
							°	'	"	°	'	"
1	2510	750	1	850	570		150	25	27			
1k	2510	750	1			1023.426	150	25	27	33	50	43.2

Таблица 2

Алгоритм решения задачи преобразования координат (составлено автором)

п/п	Вар. №	1	
Преобразование координат			
№	Обозначения	Значения величин	
1	a	2510	
2	b	750	
3	UB	850.00	
4	VB	570.00	
5	m	1	
6	α_1°	'	"
	150	25	27
7	α_2°	'	"
	0	0	0
8	tg r	0.670588	
9	r (румб) рад	0.590713	
10	r (румб) градус	33.845340	
11	α_2 радиан	0.590713	
12	α_2° градус	33.845340	
13		0.590713	5.692473
14	α_2°	'	"
15	33	50	43.2
16	$S = \Delta X^2 + \Delta Y^2$	1023.426	
17	α_1 (градус)	150.424167	
18	α_2 (градус)	33.845340	
19	α_3 (градус)	184.269507	
20	XВ	1489.41	
21	YВ	673.81	

Данная программа решения задачи преобразования координат методом условно вспомогательной системы (УВС) координат составлена подробно в Excel для вычислений и промежуточного контроля по формулам (11) и (12), они компактны и просты, что позволяет без каких-либо затруднений составить программу, достаточно знание основ программы Excel. В случае необходимости программа может быть усовершенствована и доведена до оптимальных размеров. Такую программу можно составить и для стандартных формул (1) и (2), но она будет несколько иной, так как формулы преобразования более громоздки. Данная составленная

программа позволяет выполнить преобразование координат по исходным данным; либо известных прямоугольных, либо известных полярных координат точки **B**.

Импорт исходных данных на лист «преобр.коорд» (табл. 2) производится с первой строки листа - «исх. коорд» (табл. 1) и задан программой вычислений, во второй строке заданы полярные координаты, для вычисления они могут быть перемещены в первую строку.

Составленная программа очень удобна и позволяет быстро получить преобразованные координаты из одной системы в другую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Под ред. Д.Ш. Михелева 8-изд. М., 2008. - 480 с.
2. Геодезия: учебное пособие для вузов / Г.Г. Поклада., С.П. Гриднев - Москва: Академический Проект: Парадигма. - 2011. - 538 с.
3. Практикум по геодезии: учебное пособие для вузов / Под ред. Г.Г. Поклада. - Москва: Трикста: Академический Проект. - 2012. - 470 с.
4. Волков В.Б. Понятный самоучитель Excel 2010. - СПб.: Питер, 2010. - 256 с.
5. Виноградов А.В. Анализ некоторых способов преобразования координат из системы в систему / Геодезия и картография. - 2007. - № 10. - С. 31-36.
6. Гафиатулин Х.Г. Решение обратной геодезической задачи (ОГЗ) с использованием программы EXCEL / Результаты научных исследований: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 февраля 2016 г., г. Тюмень). в ч. 2 - Уфа: АЭТЕРНА. - 2016. С. 8-12.
7. Телеганов Н.А., Тетерин Г.Н. Метод и системы координат в геодезии - Новосибирск: СГГА. - 2008. - 139 с.
8. Анисимов В.А., Макарова С.В. Инженерная геодезия - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС. - 2009. - 150 с.
9. Смолич С.В., Верхотуров А.Г., Савельева В.И. Инженерная геодезия - Чита: ЧитГУ. 2009. - 185 с.
10. Субботин И.Е., Мазницкий А.С. Справочник строителя по инженерной геодезии: Будивэлнык. 1989. - 280 с.

Gafiatulin Harbil Galimovich

Kazan (Volga) federal university
Naberezhnye Chelny branch, Russia, Naberezhnye Chelny
E-mail: HGGafiatulin@kpfu.ru

Novoselov Oleg Gennadevich

Kazan (Volga) federal university
Naberezhnye Chelny branch, Russia, Naberezhnye Chelny
E-mail: Shi-set@mail.ru

The solution of the geodetic inverse conversion flat rectangular and polar coordinates determined by the system numbers from one network to another through projection of the conditional of the auxiliary coordinate system

Abstract. The article is devoted to the solution of geodetic tasks the conversion of rectangular and polar coordinates on the plane by (method) the projection of the conditional of the auxiliary coordinate system. The relevance of the topic caused by the presence and variety, both state and regional coordinate systems. In the article the problem of solving the problem of coordinate transformations regardless of the original coordinate systems (rectangular, polar) of the plane allows for a single formula and a program to implement translation systems. In this article, first considered the question of the coordinate transformation method of the projection of the conditional of the auxiliary system (DPS) the coordinates obtained by the multiple pivot axes in mutual alignment with polar coordinates. Composed of the General scheme and the formulas of the inverse recalculation rectangular and polar coordinates on the plane from one system to another. An algorithm for solution transfer method conventionally auxiliary coordinate system in Microsoft Excel. This program and the conversion method of the UVS coordinates are very convenient and allow you to easily and quickly perform the coordinate transformation on the original data; any known rectangular or polar coordinates is known at a single formula and program.

Keywords: Microsoft Excel; algorithm of transition; the polar coordinate system; coordinate transformation; the rectangular coordinate system; the coordinate system; diagram of coordinate transformation