

*Абжапарова Д.А.*

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЕКЦИИ И КООРДИНАТ  
ГАУССА-КРЮГЕРА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ  
В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ**

*D.A. Abzharova*

**APPLICATION OF ENGINEERING PRINCIPLES AND COORDINATE PROJECTION  
GAUSS-KRUGER GEODETIC WORKS IN THE KYRGYZ REPUBLIC**

УДК: 528

*В данной статье предлагается один из способов решения вопроса принимаемого проекций Гаусса-Крюгера для решения инженерно-геодезических задач в условиях Кыргызской Республики, а также определяются системы координат.*

*This article proposes a way of resolving the question of the received Gauss-Kruger projection solutions for geodetic missions in the Kyrgyz Republic, and identifies the advantages and disadvantages of each projection and associated coordinate system.*

На сегодняшний день на практике создания геодезического обоснования, для различного рода выполнения инженерно-геодезических работ возникает проблема по привязке съемочной геодезической сети к пунктам государственной сети. В связи с этим возникает трудности по практическому применению проекции Гаусса-Крюгера, так как математическая база предлагаемой проекции сложна и громоздка.

Прежде чем приступить к решению этой задачи, рассмотрим современную практику применения проекции и координат Гаусса-Крюгера в инженерных, городских геодезических и маркшейдерских работах. С развитием инженерно-геодезических и городских работ недостатки системы координат Гаусса-Крюгера привели к тому, что ее стали постепенно заменять условными и местными системами прямоугольных координат, которые более или менее отвечали требованиям градостроительной и маркшейдерской практики. Кратко проследим современную практику применения проекции и системы координат в главнейших областях инженерной деятельности, в частности: в инженерно-геологических и геофизических работах, в гидро-энерго-строительстве, в градостроительстве, в промышленном и гражданском строительстве, в горно-маркшейдерских работах [1,8].

При инженерно-геологических и геофизических работах в зависимости от стадий работ пользуются аналитическими данными: координатами, длинами сторон, дирекционными углами, топографическими

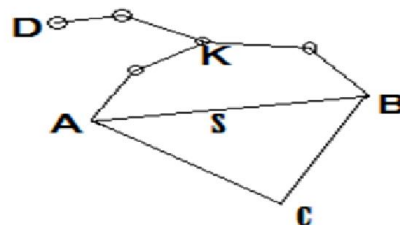
планами и картами в различных масштабах. Сравнительная относительная точность, порядка 1:1000÷1:1500 производимых геологических и геофизических работ позволят применения исследуемого участка от осевого меридиана 3°- х или 6°-ти зоны. Однако, предъявляемые требования к точности инженерно-геодезических и съемочных работ, выполняемых в масштабах 1:2000÷1:500 для инженерной геологической практики коренным образом меняет постановку вопроса о выборе целесообразной проекции.

Примем предельную графическую точность  $m_d$  топографической съемки для точки D (рис.1), определяемой из геодезической привязки, тогда, следуя рассуждениями А.И.Дурнева (15), среднюю квадратическую ошибку точки K сети сгущения как опорной, в худшем случае нужно иметь в два раза меньшую, чем  $m_d$  т.е

$$m_k = \frac{m_d}{2} \quad (1)$$

При соблюдении такого требования в государственной геодезической сети (пункты А,В,С) необходимо иметь точность в 2-3 раза выше, чем точность развиваемой сети сгущения, поскольку она предназначена не только для топографической съемки, но и для целого ряда геодезических измерений, выполняемых для проектных и строительных работ.

Следовательно,  $m_B = m_S = \frac{m_k}{z} = \frac{m_d}{4}$  (2)



**рис.1.** Топографической съемки для точки D где  $m_B$  - средняя квадратическая ошибка в

длина стороны триангуляции приравненная к ошибке определения пункта.[10] Таким образом, согласно инструкции для последней ступени съемки в масштабе 1:500 при точности построения топографической основы геологических карт равной  $\pm 0.3$  мм, имеем  $m_d = 0.15$ м,  $m_k = 0.075$ м,  $m_s = 0.038$ м. Другими словами, самая слабая сторона триангуляции 4 класса длиной 2км должна определяться с относительной ошибкой

$$\frac{m_s}{S} = \frac{0.038}{2000} = \frac{1}{50000}$$

Относительная ошибка сети сгущения, проложенной между пунктами триангуляции 4 класса, определяется по формуле

$$\frac{I}{N} = \frac{2m_k}{2500} = \frac{I}{1700}$$

Для съемочного обоснования, при длине теодолитного хода между точками полигонометрии равной 0.5км, получим

$$\frac{I}{N} = \frac{2m_D}{d} = \frac{2 \times 0.15}{500} = \frac{I}{1700}$$

Из этого следует, что если пользоваться численными результатами съемок в проекции Гаусса-Крюгера, то при выносе проектов инженерно-геологических объектов в натуру мы должны  $d$  и углы, рассчитанные по координатам, вводить поправки за переход с плоскости на эллипсоид. Это конечно, доставляет большие неудобства в вычислениях. Поэтому, чтобы избежать этого на практике весьма часто пользуются местной системой координат [4].

В гидро-энерго-строительстве в зависимости от стадии проектирования и строительства пользуются материалами топографических съемок масштаба 1:250000÷1:500. Планы масштабов 1:5000÷1:500 выполняются либо в проекции 3°-х зонах, либо в местной системе координат.

В зависимости от вида запроектированного гидротехнического сооружения определяется и рассчитывается точность инженерно-геодезических работ для гидротехнического строительства, которая достаточно высокая и составляет от 20 до 1 мм.

Точность обычных геодезических сетей в таких случаях не всегда удовлетворяет указанному допуску. Поэтому для этих целей используется специальная гидротехническая триангуляция трех разрядов. Особенность ее заключается в том, что при наличии коротких сторон сети, она обеспечивает получение длин сторон, углов и координат с высокой степенью точности [4,10].

Относительная ошибка наиболее слабой сторо-

ны гидротехнической триангуляции находится в пределах от 1:70000 до 1:200000. Как показывают результаты исследований точности государственной геодезической сети, приведенные в работе С.Г.Судакова, государственное обоснование не может представить исходных данных для указанной сети специального назначения, и т.к. ошибки этих данных одного порядка с собственно ошибками измерения наиболее ответственных сторон. Следовательно, чтобы не вносить ошибок исходных данных в сети специального назначения государственные геодезические сети должны иметь относительные ошибки слабо определяемых сторон от 1:40000 до 1:400000. Поэтому геодезические сети гидротехнической триангуляции следует создавать на собственных базисах, используя лишь ориентировку направлений и координаты одного из пунктов государственной геодезической сети. Высокоточная гидротехническая геодезическая сеть должна обрабатываться в такой проекции, которая дала бы неощутимые искажения расстояний и редукции углов.

По этой причине вопросы целесообразного выбора поверхности относительно осевого меридиана в гидро-энерго-строительстве имеют большое принципиальное значение.

Так, к примеру, при обработке высокоточной гидротехнической триангуляции 2 разряда, выполненной автором для строительства в Кыргызстане высокогорного Кировского водохранилища, пришлось вообще отказаться от проекции Гаусса-Крюгера, поскольку длина плотины в 257 м, вычисленная в ней, на 50 мм больше действительной, а отводного туннеля длиной 360 м, соответственно на +68 мм. По Токтогульской ГЭС соответствующие величины значительно больше.

Естественно, что на практике при использование геодезических данных, если они вычислены в проекции Гаусса-Крюгера, в проектировании и строительстве возникают определенные трудности.

Для проектирования и строительства городов согласно СН-212-62 необходимо иметь топографические карты и планы в масштабе 1:10000 ÷ 1:5000 выполняются обычно в проекции и по координатам Гаусса-Крюгера а остальные либо в условной, либо в местной системе координат [4].

Чтобы обеспечить точность изображаемых предметов городских территорий со сложным надземным и подземным хозяйством в последней стадии съемок в масштабе 1:500, необходимо определять точки съемочных ходов со средней квадратической ошибкой  $\pm 0.2$ мм на плане, что соответствует  $m_D = \pm 0.10$  м на местности. Отсюда

$$m_k = \pm \frac{0.10i}{2} = \pm 0.05 i$$

$$m_s = \pm \frac{0.10i}{4} = \pm 0.025 i$$

Тогда относительная ошибка определения слабой стороны городской триангуляции 4 класса при  $s = 2$  км должна быть

$$\frac{m_s}{S} = \frac{0.025}{2000} = \frac{1}{80000}$$

Относительная ошибка для сети сгущения, проложенной между пунктами триангуляции, равна

$$\frac{m_k}{S} = \frac{2 \times 0.05 i}{2500} = \frac{1}{25000}$$

Для съемочного обоснования при длине теодолитного хода 0.8 км между точками полигонометрии, при масштабе 1:500 аналогично прежнему получим

$$\frac{m_D}{d} = \frac{2 \times 0.10}{800} = \frac{1}{4000}$$

Соответственно при длины теодолитного хода  $d = 500$  м, вместо данной в СН – 212-62 точности 1:2000, относительная ошибка будет

$$\frac{m_D}{d} = \frac{2 \times 0.10}{500} = \frac{1}{2500}$$

Очевидно, созданное постоянное обоснование такой точности будет достаточным при решении многих инженерно-технических задач градостроительства. Перенесение в натуру проектов планировки и застройки городов производится действием обратным съемке местности. Геодезические разбивочные работы в большинстве случаев по точности в несколько раз выше точности работ, производимых при съемке. Для обеспечения разбивки, а также для контроля ее не обходимо, чтобы положение пунктов разбивочной опорной сети было определено с точностью в 2 раза больше той, которая принята при разбивке сооружений. Поэтому предельная относительная ошибка взаимного положения пунктов плановой опорной сети в последней стадии должна быть соответственно 1:5000, что соответствует 2 разряду по классификации городской полигонометрии [7].

Созданное плановое обоснование такой точности в системе координат Гаусса-Крюгера во многих случаях практики городских работ потребует обратного перехода к натуральным значениям длин сторон и углов. В противном случае, при выполнении инженерно-геодезических работ с относительной ошибкой выше 1:2500 для разбивки уникальных сооружений и коммуникаций потребуются специальные локальные сети ограниченного распространения, или на собственных базисах, измеренных с высокой степенью точности без

введения каких-либо поправок в длины сторон и углов.

Для осуществления проектно-планировочных работ по промышленному и гражданскому строительству должно быть заранее подготовлены топографические планы и геодезические данные, служащие основой для проектирования. Топографическая основа необходима для правильного размещения объектов, планировки и застройки.

В соответствии с принятыми инструкциями, нормами и правилами по планировке и застройке промышленных и гражданских сооружений возникают необходимость иметь топографические планы и карты для различных видов и стадий проектирования в масштабах 1:200; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000.

Геодезические съемки территорий промышленных предприятий, за исключением специальных объектов, по методу выполнения близкими к городским крупномасштабным. Следовательно, точность триангуляции, полигонометрии и сетей сгущения для крупномасштабных съемок включительно до 1:500 остаются одинаковыми и рассчитываемыми для градостроительства. Относительные невязки теодолитных ходов не должны превышать 1:2500 при максимальной длине хода 0.5 км

Однако и современных методах строительства из сборных конструкций и элементов требуется наибольшая точность при разбивке зданий по сравнению с точностью разбивки кирпичных сооружений. В связи с этим, требования промышленного и гражданского строительства к инженерно-геодезическим работам увеличиваются и, как следствие этого, чаще возникает потребность в создании специального высокоточного геодезического обоснования. Поэтому многие проектные и строительные организации пользуются топографическими планами масштабов  $1 : 2000 \div 1 : 500$  и аналитическими данными в условной или местной системах координат, так как размеры крупных сооружений длиной более 1 км, вынесенные в натуру по геодезическому обоснованию в проекции Гаусса-Крюгера, на краю 3<sup>о</sup>-х зон увеличиваются до 20 см, что значительно превышает технические допуски в строительстве [6].

Из различного рода карт наибольшее значение для горного дела имеют топографические карты масштабов  $1 : 25000$ ;  $1 : 10000$ . Основными маркшейдерскими планами горных работ для различного вида горно-промышленных предприятий считаются планы в масштабах  $1:5000 \div 1 : 500$ . В этой отрасли народного хозяйства гораздо чаще, чем в других из-за отсутствия исходных данных и значительных искажений проекции Гаусса-Крюгера, применяется условная система координат, приведен-

ная к средней уровневой поверхности участка горных работ.

Так к примеру, если использовать плановое обоснование для автодорожного туннеля Тоо-Ашуу по трассе Бишкек – Ош длиной 2370 м в проекции Гаусса-Крюгера, то для края 3°-й зоны ( $y_m = 120$  км) под широтой  $45^\circ$ , получим

$$\Delta S_{3^\circ} = S \frac{y^2 m}{2R^2 m} = S \frac{1}{5000} = 0.474 \text{ м}$$

А если учесть широкий размах горно-маркшейдерских работ (например, туннель Тоо-Ашуу по трассе Бишкек-Ош длиной 2370 м), то станет ясным и вопрос несоответствия между точностью специального обоснования и искажениями проекции.

Согласно требованиям, предъявляемым к строительству и эксплуатации горных предприятий устанавливается классификация локальных геодезическо-маркшейдерских сетей по типу гидротехнической триангуляции с относительной ошибкой слабо определяемой стороны  $1 : 70\ 000 \div 1 : 200\ 000$ . Подобная триангуляция, создаваемая для контроля неподвижности пунктов, от которых ведутся наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями сооружений, должна обеспечивать положения этих пунктов со средней квадратической ошибкой не более  $\pm 3-5$  мм. Допуски смещений сооружений рассчитываются в зависимости от ожидаемых величин оседаний и горизонтальных сдвигов [5,8].

В итоге вышеизложенного можно сделать следующие выводы и предложения:

1. Проекция должна быть камфорная, причем линейные искажения и редуция направлений в ней возможно малые искажения.

2. Система координат должна иметь единую схему применения для всех городских и инженерно-геодезических работ.

3. Она математически должна быть связана с общегосударственной системой координат и легко определяемой в последнюю.

#### Литература:

1. Христов В.К. Координаты Гаусса-Крюгера на эллипсоде вращения. - М.: Геодезиста, 1957. – 203 с.
2. Болшаков В.Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. – М.: Недра, 1983.– 223 с.
3. Куштин И.Ф., Куштин В.И. Геодезия: учебно-практической пособие- Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 909 с.
4. Зенин В.Н. разработка специальной геодезической проекции для инженерных и городских геодезических работ// Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: 1970. – 12 с.
5. Голубев В.В. Теория математической обработки геодезических измерений. – М.: Недра, 2009. – 246 с.
6. Бойко Е.Г. Высшая геодезия // Часть II. Сфероидическая геодезия – Картгеоцентр. – М.: Геодезиздат, 2003. – 144 с.
7. Огородова Л.В. Высшая геодезия // Часть III. Теоретическая геодезия. – М.: Геодезкартиздат, 2006. – 245 с.
8. Яковлев Н.В. Высшая геодезия.– М.: Недра, 1989.– 445 с.
9. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия.– М.: Недра, 1978.– 264 с.
10. Бессель Ф.В. Высшая геодезия и способ наименьших квадратов. – М.: Геодезлитиздат, 1961. – 282 с.
11. Карабцова З.М. Геодезия. – М.: Издательство Дальневосточного университета, 2002. – 153 с.

**Рецензент: д.т.н., профессор Сеитов Б.М.**