



УДК 528

Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке

Г.А.УСТАВИЧ, А.Г.НЕВОЛИН, В.А.ПАДВЕ, В.Г.САЛЬНИКОВ✉, А.В.НИКОНОВ
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия

Как цитировать эту статью: Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке / Г.А.Уставич, А.Г.Неволин, В.А.Падве, В.Г.Сальников, А.В.Никонов // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 366-376. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.5

Аннотация. В статье освещены вопросы создания с необходимой точностью планового обоснования на промплощадке строящихся инженерных сооружений с применением спутниковых технологий и тахеометров. В зависимости от конструктивных особенностей строящегося инженерного сооружения, а также технологической схемы монтажа строительных конструкций и промышленного оборудования, рассматриваются различные схемы создания такого обоснования, основанные на применении обратной линейно-угловой засечки.

Ошибки исходных данных – одни из основных ошибок, влияющих на точность геодезических построений, в том числе и на решение обратной линейно-угловой засечки. При создании геодезической сети в несколько ступеней ошибки исходных данных первой ступени влияют на величины среднеквадратических ошибок (СКО) определения положения пунктов второй ступени, ошибки которой оказывают влияние на величину СКО положения пунктов третьей ступени и т.д. Причиной их возникновения являются ошибки геодезических измерений, возникающие на каждой ступени создания обоснования, а также нарушение стабильности пунктов во время производства земляных и строительно-монтажных работ. При определении координат отдельной проектной точки на этапе выноса ее в натуру тахеометром уравнивание всей сети в подавляющем большинстве случаев не производится, а координаты исходных пунктов, на которые производится ориентирование тахеометра, считаются безошибочными. Вследствие этого СКО определения координат пунктов сети обоснования или выноса проектных точек элементов строительных конструкций и оборудования также будут считаться удовлетворяющими требованиям, т.е. точность измерений будет искусственно завышена и не будет соответствовать фактически полученной. Это обусловлено тем, что не принимается во внимание накопление ошибок исходных данных при увеличении количества ступеней (этапов) создания обоснования.

Целью данной работы является анализ влияния ошибок измерений и исходных данных при создании геодезического обоснования на промплощадке несколькими ступенями его построения на основе обратных линейно-угловых засечек и априорной оценки точности положения определяемых пунктов.

Ключевые слова: обратная линейно-угловая засечка; способ полярных координат; спутниковые технологии; тахеометр; ошибки исходных данных; ошибки координат точек

Введение. Для строительства инженерных сооружений и монтажа технологического оборудования на промплощадках создается планово-высотное обоснование, состоящее из следующих частей (СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве», СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства», СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»):

- внешнего разбивочного обоснования, предназначенного для обеспечения проектного взаимного расположения зданий и сооружений, выноса в натуру основных осей возводимых объектов, сетей инженерно-технического обеспечения, производства исполнительных съемок и проведения геодезического деформационного мониторинга;

- внутренней разбивочной сети здания (сооружения) на исходном и монтажных горизонтах для возведения этих зданий и сооружений, а также укрупненного монтажа технологического оборудования.

Также для поэтапного монтажа технологического оборудования дополнительно создаются локальные разбивочные сети с учетом конструкции этого оборудования.

Создание указанных геодезических сетей производится с точностью, соответствующей требованиям нормативных документов (СП 126.13330.2017, 47.13330.2012, 70.13330.2012), а также документов на монтаж применяемого технологического оборудования, например, турбоагрегатов, реакторов, парогенераторов и т.д. В ряде случаев точность создания сетей уточняется в разрабатываемом проекте производства геодезических работ, при этом она на каждом последующем этапе их создания (внутреннего обоснования) повышается.



Раньше создание внешнего обоснования производилось в виде строительной сетки, которая имела стороны квадрата или прямоугольника длиной в основном 100 или 200 м [16]. После всех геодезических измерений выполнялась их обработка и оценка точности определения координат для всех пунктов строительной сетки в целом, которые после принимались равноточными, и относительно их в дальнейшем производились разбивочные работы – вынос в натуру основных и главных осей инженерных сооружений и зачастую технологических осей оборудования.

И в настоящее время в ряде случаев проектные организации рекомендуют создавать внешнее обоснование в виде строительной сетки с любыми длинами сторон квадрата или прямоугольника. Однако при выполнении геодезических измерений на пунктах создаваемой сетки предписывают применять спутниковые технологии или линейно-угловые построения с применением высокоточных тахеометров.

С появлением в геодезическом производстве спутниковых технологий и тахеометров кардинально изменилась технологическая схема создания внешнего обоснования, методика выполнения измерений, а также значительно упростилось получение координат на промплощадке с требуемой величиной средней квадратической ошибки, сократилось и время, необходимое на выполнение измерений.

В связи с тем, что в значительной степени прекратилось создание на промплощадке внешнего разбивочного обоснования в виде строительной сетки, его заменили спутниковыми технологиями измерений, а также наземными способами – способом свободной станции или полярных координат (полярной засечки). Однако практика их применения показывает, что в ряде случаев вычисление координат пунктов обоснования происходит без предварительного совместного уравнивания результатов измерений. Данное обстоятельство усугубляется при дальнейшем сгущении внешнего обоснования промплощадки, так как при этом не учитываются ошибки исходных данных пунктов предыдущей ступени обоснования, что приводит к накоплению ошибок при определении координат пунктов каждой последующей ступени. Из-за этого возникают недопустимые искажения в линейно-угловых построениях всех ступеней планово-высотного обоснования промплощадки, что существенно снижает точность выполнения разбивочных работ. Особенно этот фактор имеет место при определении координат пунктов обоснования путем решения обратной линейно-угловой засечки или способа полярных координат. Поэтому в статье рассматриваются схемы создания исходного планового обоснования промплощадки, а также различные схемы развития ступеней его сгущения, основанные на применении способа обратной линейно-угловой засечки и полярных координат. Также выполнен анализ влияния ошибок исходных данных предыдущей ступени обоснования на величину СКО определения координат последующей создаваемой ступени, включая конечную величину СКО выноса (или определения) в натуру основных и главных осей сооружений, разбивочных точек для установки отдельных строительных конструкций при возведении инженерных сооружений, предварительного расположения разбивочных осей для монтажа технологического оборудования.

Методы измерений. Рассмотрим технологические схемы создания планового обоснования на примере промплощадок ответственных инженерных сооружений – атомных или тепловых электростанций.

В зависимости от числа проектируемых блоков промплощадки атомных или тепловых электростанций имеют площадь 2-4 км². Это обстоятельство требует создания разбивочной сети на большой территории, с требуемой величиной СКО взаимного положения пунктов, что в ряде случаев обеспечивается применением спутниковых технологий (СП 126.13330.2017) [8, 18]. Создание планово-высотного обоснования на таких промплощадках производится в основном в следующей последовательности:

- передача координат на три-четыре пункта планово-высотного обоснования на территорию промплощадки от пунктов государственной геодезической сети или сети постоянно действующих базовых станций с целью установления связи между государственной (или региональной) и условной системами координат строительной площадки;
- создание планово-высотного обоснования промплощадки спутниковыми технологиями или линейно-угловыми построениями. Во избежание влияния ошибок исходных данных и передачи координат на промплощадку, сеть уравнивается как свободная;



- для удобства выполнения детальных разбивочных работ в условиях строительной площадки производится сгущение плано-высотного обоснования путем создания нескольких его ступеней;
- выполнение разбивочных работ на промплощадке для монтажа строительных конструкций;
- создание внутренней разбивочной сети сооружения и передача координат на монтажные горизонты для его возведения и производства исполнительных съемок [5, 6, 17];
- создание детального (локального) плано-высотного обоснования более высокой точности с увеличением числа пунктов для монтажа технологического оборудования.

Методика создания детальных разбивочных построений для монтажа технологического оборудования в статье не рассматривается.

На рис.1 показано расположение основных инженерных сооружений АЭС: реакторных блоков, турбинных залов и градирен.

Для создания внешнего разбивочного обоснования передача плановых координат произведена спутниковыми технологиями от пункта государственной геодезической сети или базовой станции на часть пунктов обоснования промплощадки, например, на пункты P1, P2, P3, P4 и P5. Согласно требованиям нормативного документа СП 126.13330.2017, СКО взаимного определения положения центров пунктов обоснования относительно пункта государственной геодезической сети или базовой станции не должна превышать величины $5 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм/км}$, а величина предельной ошибки в режиме постобработки – 20,0 мм. Это означает, что величина ошибки взаимного положения двух смежных пунктов сети может составлять 25-30 мм. В табл.5.1 нормативного документа СП 126.13330.2017 указывается, что величина предельной ошибки взаимного положения пунктов внешнего разбивочного обоснования может достигать 50,0 мм. Вместе с тем в пункте 6.1 указывается, что внутренняя разбивочная сеть должна создаваться на исходном горизонте от пунктов внешнего разбивочного обоснования. В связи с этим вынос основных и главных осей инженерных сооружений, особенно ответственных, от смежных (разных) пунктов внешнего обоснования с учетом указанных ошибок их взаимного расположения будет производиться с грубыми ошибками [13]. Поэтому с целью исключения влияния недопустимых ошибок в положении пунктов внешнего обоснования на положение пунктов внутренней сети, согласно пункту 6.3 указанного нормативного документа, и предписывается создавать внутреннюю разбивочную сеть, а за рабочую (исходную) систему координат этой сети принимать точку пересечения цифровых и буквенных осей сооружения на исходном горизонте (уровень чистого пола). Это требование согласу-

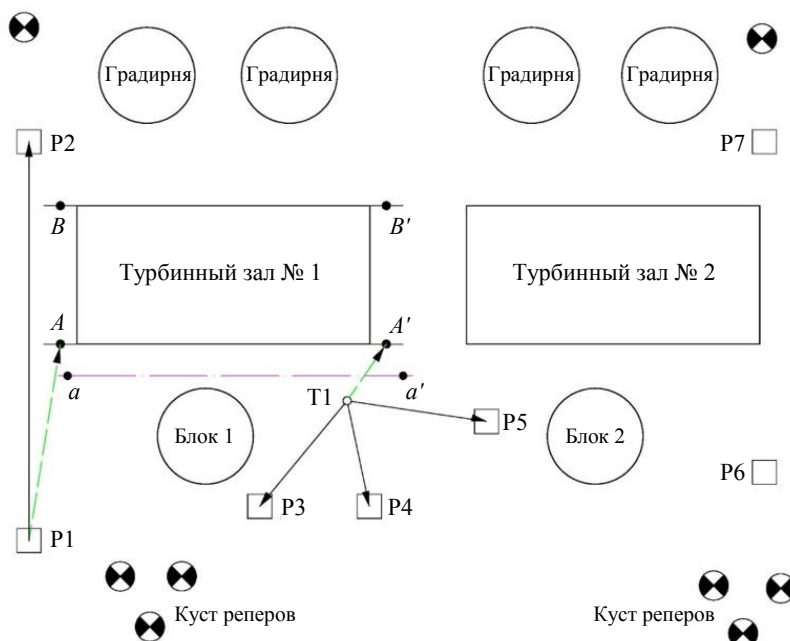


Рис.1. Схема расположения основных зданий на промплощадке АЭС

ется с ранее высказанным положением автора работы [7], в которой рассматривается два вида точности инженерно-геодезических измерений, выполняемых на промплощадке: точность размещения целого инженерного сооружения (его основных осей) относительно окружающих объектов на промплощадке (первый вид); точность разбивки отдельных частей этого сооружения относительно его основных осей (второй вид).

В этом случае допустимо смещение или разворот всего здания от его проектного положения на 5-10 см (первый вид точности), но оно недопустимо для обеспечения требуемой точности взаимного положения его основных осей (второй вид точности).



Такой подход использовался несколько десятилетий назад, когда геодезические приборы могли обеспечить СКО взаимного положения смежных пунктов обоснования только порядка 10-30 мм при указанных выше размерах промплощадки. Поэтому эти пункты обоснования не могли быть исходными для выноса основных и главных осей сооружения под установку строительных конструкций, например, колонн, так как они не удовлетворяли требованиям нормативного документа СП 70.13330.2012 по обеспечению величин СКО плановых смещений осей колонн и опор относительно разбивочных осей при установке их на фундамент (они не должны превышать 5,0 мм).

Получение третьей координаты для создания внешнего обоснования и внутренней сети производилось путем передачи высот на промплощадку (на кусты глубинных реперов и пункты внешнего обоснования) высокоточным геометрическим нивелированием по программе II класса (в зависимости от ответственности сооружений) от ближайших реперов государственной нивелирной сети II класса, редко – I. Дальнейшее развитие нивелирной сети при создании внешнего обоснования, а также внутренней сети производилось нивелированием III класса.

Для монтажа технологического оборудования внутри этих сооружений создавалось детальное (локальное) плано-высотное обоснование – инженерно-геодезические сети с точностью, указанной в технической документации для монтажа и эксплуатации конкретного оборудования. Для создания таких сетей применялись специальные способы измерений: струнно-оптический, прямого оптического визирования, подвижной марки, координатный, нивелирование короткими лучами и т.д. При этом связь внешнего плано-высотного обоснования, внутренних высокоточных инженерно-геодезических и локальных сетей осуществлялась только с целью общей привязки проектных (или фактических) координат строительных конструкций инженерных сооружений, расположенных на промплощадке, и применяемого оборудования.

С появлением высокоточных геодезических средств измерений, которые стали обеспечивать СКО определения координат пунктов внешнего обоснования порядка 2,0-5,0 мм, были разработаны новые методы и схемы создания инженерно-геодезических сетей с применением спутниковых технологий или линейно-угловых построений тахеометром [1, 3, 15], а также был усовершенствован порядок проведения разбивочных работ. Особенно это относится к инженерно-геодезическим измерениям, выполняемым тахеометром [4, 11, 12]. Например, разбивочные элементы выносимых точек осей сооружения рассчитываются процессором тахеометра непосредственно на промплощадке, на месте выполнения соответствующих измерений [2, 3]. С учетом этого в значительной степени изменилось соотношение точностных параметров определения координат пунктов внешнего обоснования промплощадки и пунктов внутренней разбивочной сети инженерного сооружения. При благоприятных внешних условиях (пасмурная погода, небольшие, до 30-50 м, расстояния) появилась возможность выполнять измерения с применением высокоточного тахеометра, создавать внутреннюю разбивочную сеть непосредственно от пунктов внешнего обоснования промплощадки. Тем самым значительно стирается грань между СКО определения координат пунктов внешнего обоснования промплощадки и пунктов (точек) внутренней разбивочной сети. Данное положение будет справедливым в том случае, если при создании внешнего обоснования и внутренней разбивочной сети будут учитываться одни из основных ошибок инженерно-геодезических измерений – ошибки исходных данных [9, 10]. Однако при выполнении измерений с целью создания или дальнейшего сгущения инженерно-геодезических построений на промплощадке очень часто исполнители не учитывают величин ошибок исходных данных предыдущей ступени сгущения обоснования, т.е. СКО определения ее координат принимается равной нулю [20]. Это приводит к искусственному завышению точности определения координат станции стояния тахеометра при решении обратной линейно-угловой засечки, которая рассчитывается программным обеспечением тахеометра, а также разбивочных точек выносимых осей инженерного сооружения.

При сгущении инженерно-геодезических построений несколькими ступенями происходит последовательное накопление влияния ошибок исходных данных каждой из ступеней, что в конечном итоге сказывается на величине СКО определения положения выносимых точек.

Рассмотрим на примере создания внешнего обоснования промплощадки АЭС механизм накопления и величину влияния ошибок исходных данных нескольких ступеней сгущения на точность разбивочных работ.



С применением спутниковых технологий на промплощадке (рис.1) определены плановые координаты пунктов $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ со СКО, рекомендуемые нормативным документом СП 70.13330.2012 [16]. Также требуется вынести в натуру ось AB турбинного зала. Вынос начала этой оси (точки A) возможен из пункта $П1$ способом полярных координат, а конца оси (точки B) из пункта $T1$, координаты которого были определены решением обратной линейно-угловой засечки. С учетом указанных выше величин СКО взаимного расположения пунктов P_1, P_2, P_3, P_4 и P_5 вынос в натуру начала и конца оси AB будет произведен с ошибкой порядка 20,0-30,0 мм. С такой же ошибкой будут вынесены и другие оси турбинного зала, например, ось CD . В результате СКО взаимного расположения осей не будет удовлетворять требованиям табл.7.1 нормативного документа СП 126.13330.2017, в котором указывается, что эта величина не должна превышать 5,0 мм.

Таким образом, основным слабым местом на промплощадке в цепочке «внешнее обоснование – внутренняя сеть» является создание внешнего обоснования со СКО, обеспечивающего возможность выноса в натуру основных и главных осей сооружений с любых пунктов этого внешнего обоснования. Такое обоснование должно обеспечивать СКО взаимного расположения пунктов сети не более 2,0-3,0 мм. Для решения данной задачи внешнее обоснование необходимо создавать в три этапа.

1. Определение планово-высотных координат пунктов $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ относительно пунктов государственных сетей или базовых станций спутниковыми технологиями с рекомендуемой нормативным документом СП 126.13330.2017 точностью. Эти пункты представляют собой свайную или трубчатую конструкцию [15], часто с принудительным центрированием.

2. Переопределение плановых координат пунктов $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ в условной системе координат (в координатной системе промплощадки) следующими линейно-угловыми построениями: способом полигонометрии; решением обратной линейно-угловой засечки; способом полярных координат.

Измерения должны выполняться высокоточными тахеометрами, обеспечивающими СКО измерения расстояний 1,5-2,0 мм и углов 1,0-2,0", с целью определения координат пунктов обоснования после уравнивания со СКО порядка 2,0-2,5 мм.

3. Дальнейшее сгущение внешнего обоснования высокоточными тахеометрами путем решения обратной линейно-угловой засечки или способом полярных координат.

На первом этапе создания внешнего обоснования СКО определение планово-высотных координат пунктов $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ относительно пунктов государственных сетей или базовых станций спутниковыми технологиями не обеспечивает требуемую точность выноса основных осей сооружения. Поэтому на втором этапе необходимо производить переопределение координат пунктов внешнего обоснования с их уравниванием и оценкой точности, а также с заданием условной системы координат, после чего внешнее обоснование будет удовлетворять требуемой точности и являться первой ступенью. С этих пунктов можно производить вынос в натуру осей сооружений. Так с P_1 способом полярных координат можно производить вынос точки A оси AB турбинного зала. Затем с использованием пунктов P_3, P_4 и P_5 обоснования решением обратной линейно-угловой засечки определяются координаты точки $T1$ стояния тахеометра. После этого можно производить вынос точки B оси AB , который также выполняется способом полярных координат с использованием начального ориентирования зрительной трубы тахеометра на любой из трех пунктов P_3, P_4 или P_5 обоснования.

Важной особенностью определения координат точки $T1$ стояния тахеометра служит тот факт, что эти координаты являются второй ступенью внешнего обоснования, и величина СКО их получения не должна превышать 2,5-3,0 мм. Это обусловлено тем, что согласно требованиям табл.7.1 нормативного документа СП 126.13330.2017 величина предельной ошибки взаимного положения габаритных осей, выносимых в натуру сооружений в плане, не должна превышать 5,0 мм. Это означает, что с учетом требования к высокой точности взаимного положения выносимых осей сооружения, необходимо тщательно выполнять геодезические измерения, а также закреплять выносимые точки, в нашем случае точки A и B (рис.1). В настоящее время их закрепление производится кернением на металлической поверхности с последующей окраской или установкой (приклеиванием) светоотражающих пленок на строительные конструкции.



Необходимость тщательного закрепления точек выносимых осей обусловлено еще и тем, что они в подавляющем большинстве случаев используются для дальнейшего сгущения внешней планово-высотной сети на промплощадке и будут являться третьей ступенью внешнего обоснования. Также они будут применяться для создания внутреннего обоснования инженерных сооружений.

Таким образом, создание обоснования на промплощадке происходит путем последовательного развития локальных ступеней. При этом последующая локальная ступень обоснования опирается на предыдущую, координаты которой принимаются за исходные и не содержащие в себе ошибок исходных данных, т.е. координаты исходных данных при их введении в тахеометр принимаются безошибочными и не влияющими на точность получения координат последующей ступени. Вместе с тем ошибки в координатах каждой ступени всегда оказывают влияние на величину СКО получения координат последующей ступени и это влияние накапливается с увеличением числа ступеней. Вследствие этого полученные величины СКО определения координат точек стояния тахеометра (ошибки исходных данных не учитываются), в нашем случае точек Т1 и Т2 второй ступени, будут отличаться от фактических (при влиянии ошибок исходных данных) величин.

С учетом сказанного выполним анализ влияния ошибок исходных данных предыдущей ступени обоснования на результаты СКО положения пунктов последующей ступени с применением различных схем измерений. При реализации методики выполнения измерений будут использоваться два или три исходных пункта обоснования, как наиболее часто применяемые на производстве схемы.

Схема № 1. Рассмотрим на промплощадке площадью 2-4 км² схему (в масштабе 1:3500), в которой в результате переопределения плановых координат исходных пунктов Р3, Р4 и Р5 (рис.2, размеры указаны в метрах) получены их новые координаты со средней квадратической ошибкой 3,0 мм.

Предположим, что положение запроектированных пунктов Т1 и Т2 (стояния тахеометра второй ступени) будет определяться решением обратной линейно-угловой засечки, разбивочных точек М1, М2, М3 и М4 способом полярных координат, пунктов Т3, Т4 и Т5 (точек стояния тахеометра) также решением обратной линейно-угловой засечки и, наконец, разбивочных точек М5, М6 и М7 снова способом полярных координат. Для контроля выноса точек М1, М2 и М3 измерения полярной засечкой можно выполнить (при наличии видимости) с точек Т1 и Т2. Предположим также, что измерения углов и длин линий выполнены соответственно с ошибками $m_{\beta} = 2,0''$ и $m_S = 2,0$ мм.

Точки Т1, Т2, Т3, Т4 и Т5 стояния тахеометра можно закреплять следующими способами: центром трегера на штативе; деревянными кольями с вбитыми в торец небольшими гвоздями; насечкой или кернением на металлической или бетонной поверхности.

Закрепление указанных точек стояния тахеометров с помощью трегера (осью вращения тахеометров) на штативе является временным. Если штатив с тахеометром установлены на неустойчивом основании (слабый грунт, снежный покров, асфальт, вибрация штатива вследствие работы строительной техники и т.д.), то с течением времени, например, через 30-50 мин необходимо производить переопределение координат. Отметим, что на этапе строительства основное влияние на устойчивость штатива оказывают разработанный грунт котлованов и снежный покров. Практика выполнения работ на промплощадке показывает, что в случае влияния указанных факторов изменение координат тахеометра может достигать 2,0-3,0 мм.

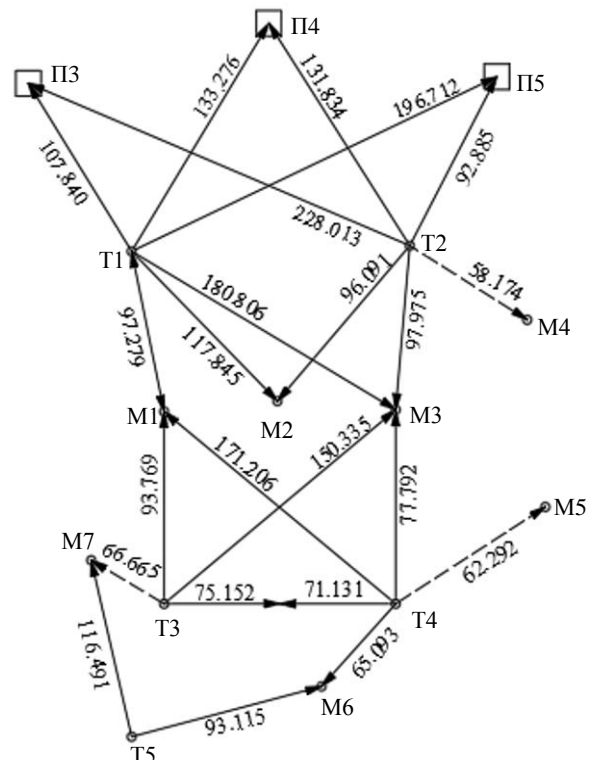


Рис.2. Схема № 1 сгущения внешнего обоснования



При необходимости длительного закрепления точек стояния тахеометров необходимо применять второй или третий способы, вследствие чего дополнительно появляется ошибка за центрирование тахеометра, равная 1,0-1,5 мм.

Рассмотрим характер и величину накопления влияния ошибок исходных данных на СКО определения координат пунктов (точек) обоснования, созданного по схеме № 1, последовательно, по мере поэтапного увеличения числа ступеней его сгущения.

С использованием пунктов Р3, Р4 и Р5 первой ступени внешнего обоснования требуется выполнить его сгущение второй ступенью, т.е. определить координаты пунктов Т1 и Т2 стояния тахеометра обратной линейно-угловой засечкой, а затем и разбивочных точек М1, М2, М3 и М4 способом полярных координат. Положение указанных разбивочных точек будет «висячим» и для исключения данного факта контрольное определение их координат можно выполнить несколько раз независимыми измерениями путем наведения на другие исходные пункты первой ступени.

В этом случае, также принимая величины ошибок исходных данных равными 3,0 мм, $m_s = 2,0$ мм и $m_b = 2,0''$, и значения измеряемых элементов линейно-угловой сети, приведенные в табл.1, получим величины СКО определения положения точек Т1 и Т2 стояния тахеометра второй ступени и разбивочных точек М1, М2, М3 и М4 (табл.1). Как правило, закрепление полученных разбивочных точек производится светоотражающими пленками либо кернением на бетонных или стальных поверхностях строительных конструкций с их последующей окраской.

Таблица 1

СКО положения пунктов Т1 и Т2 второй ступени сети № 1 и разбивочных точек (с учетом ошибок исходных пунктов Р3, Р4 и Р5 первой ступени)

Пункт, точка	М, мм	Мх, мм	Му, мм
Т1	3,3	2,2	2,4
Т2	3,5	2,4	2,6
М1	6,4	4,3	4,8
М2	4,8	2,9	3,8
М3	6,7	4,5	5,0
М4	6,4	4,4	4,6

Полученные величины СКО положения пунктов Т1 и Т2 составили 3,3 и 3,5 мм соответственно, а разбивочных точек М1, М2, М3 и М4 – от 4,8 до 6,7 мм. Этой точности достаточно для выполнения связи координат внешнего обоснования с координатами внутренней разбивочной сети, а также выполнения разбивочных работ под установку колонн, фундаментов стаканного типа, опалубки под бетонные работы, монтажа подземных коммуникаций.

Предположим, что требуется выполнить дальнейшее сгущение обоснования третьей ступенью. Для этого можно воспользоваться разбивочными точками М1, М2 и М3, которыми они являлись при реализации второй ступени сгущения. При выполнении дальнейшего сгущения полученные координаты точек М1, М2 и М3 с указанной величиной СКО могут являться третьей ступенью обоснования и использоваться в качестве исходных пунктов для дальнейшего сгущения обоснования.

Для дальнейшего сгущения (получения четвертой ступени) при установке тахеометра в пунктах Т3 и Т4 в качестве исходных используем точки М1 и М3 третьей ступени и применим обратную линейно-угловую засечку. В качестве величин ошибок исходных данных точек М1 и М3 будут приниматься данные из табл.1. Для контроля полученных координат четвертой ступени можно дополнительно выполнить измерения со взаимным визированием между пунктами Т3 и Т4 (табл.2).

Такая величина СКО определения положения исходных пунктов Т3 и Т4 и разбивочных точек М5, М6 и М7 не достаточна для выполнения связи координат внешнего обоснования с координатами внутренней разбивочной сети и разбивочных работ под установку колонн, но будет достаточна для производства разбивочных работ отдельных конструктивных элементов сооружения, например, при установке фундаментов стаканного типа, опалубки под бетонные работы, монтажа подземных коммуникаций и т.д.



Таблица 2

СКО положения пунктов Т3 и Т4 четвертой ступени сети № 1 и разбивочных точек (с учетом ошибок исходных точек М1 и М3 третьей ступени)

Пункт, точка	М, мм	Мх, мм	Му, мм
Т3	9,9	6,5	7,5
Т4	10,3	7,2	7,3
М5	13,5	11,0	7,8
М6	13,6	7,8	11,1
М7	14,0	11,3	8,3

Если и дальше производить сгущение обоснования, например, определение координат пункта Т5 (пятая ступень), то СКО полученных координат, при указанной выше точности измерений, будут равны $M_x = 10,2$ мм, $M_y = 13,2$ мм и $M = 16,7$ мм, что будет соответствовать требованиям только при выполнении исполнительных съемок подземных и надземных коммуникаций, а также получении топографических планов промплощадки масштаба 1:500.

Таким образом, общая ошибка положения пункта Т5, обусловленная влиянием случайных ошибок измерений и исходных разбивочных точек М6 и М7 на пятой ступени сгущения, составляет $M \approx 17,0$ мм.

Сгущение внешнего обоснования для целей проведения разбивочных работ под строительномонтажные работы с использованием данной схемы измерений возможно только до четвертой ступени, учитывая влияние ошибок исходных данных.

Схема № 2. При производстве геодезических работ на промплощадках вытянутой формы часто используется схема создания обоснования в виде «хода» из последовательных обратных линейно-угловых засечек (рис.3). В отличие от классического тахеометрического хода ориентирование тахеометра производится не по одной (задней) точке этого хода, а сразу по трем. В этом случае сначала в качестве исходных точек выступают пункты П1, П2 и П3 внешнего обоснования (первая ступень), положение которых оценивается ошибкой порядка 2,0-3,0 мм, а затем, после определения координат пункта Т1 стояния тахеометра (вторая ступень) из решения обратной линейно-угловой засечки и его последующего ориентирования на один из исходных пунктов первой ступени, например, пункт П1, полярным способом выносятся разбивочные точки М1, М2, М3 (третья ступень), которые для четвертой ступени обоснования будут являться исходными. В связи с тем, что точки М1, М2, М3 являются «висячими», то для повышения точности их определения целесообразно выполнять измерения не менее чем двумя приемами при двух положениях круга [19].

Рассмотрим накопление ошибок в положении пунктов схемы № 2 (в масштабе 1:3500) при последовательном ее сгущении ступенями решением обратных линейно-угловых засечек и способа полярных координат.

Координаты пункта Т1 второй ступени определяются решением обратной линейно-угловой засечки с использованием пунктов П1, П2 и П3 первой ступени, а координаты разбивочных точек М1, М2 и М3 (третья ступень) определяются полярным способом. Результаты оценки точности их положения приведены в табл.3.

Координаты пункта Т2 четвертой ступени определяются решением обратной линейно-угловой засечки с использованием точек М1, М2 и М3 третьей ступени, а координаты разбивочных точек М4, М5 и

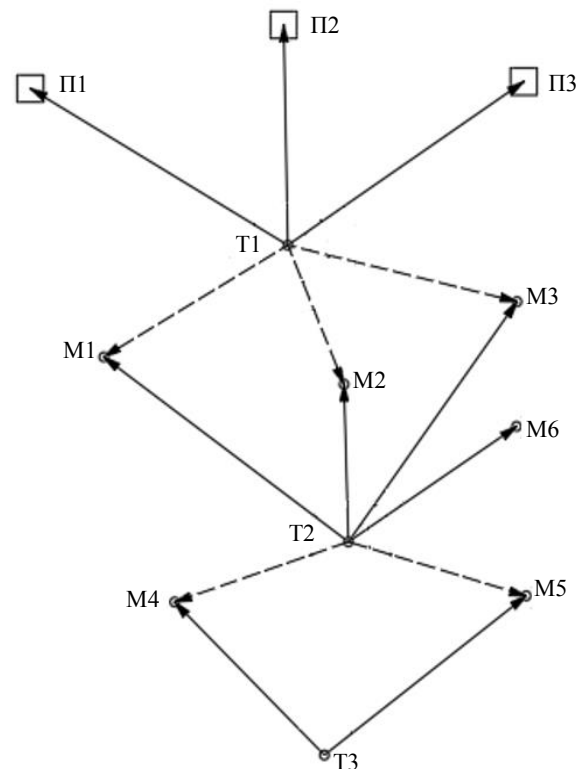


Рис.3. Схема № 2 сгущения внешнего обоснования



М6 (пятая ступень) определяются полярным способом. Результаты оценки точности их положения приведены в табл.4.

Таблица 3

СКО положения пункта Т1 второй ступени сети № 2 и разбивочных точек М1, М2 и М3 (третья ступень) с учетом ошибок исходных данных пунктов П1, П2 и П3 первой ступени

Пункт, точка	М, мм	Мх, мм	Му, мм
Т1	3,4	1,9	2,8
М1	6,5	4,1	5,0
М2	6,6	4,2	5,1
М3	6,7	4,4	5,1

Таблица 4

СКО положения пункта Т2 четвертой ступени и разбивочных точек М4, М5 и М6 (пятая ступень) с учетом ошибок исходных данных точек М1, М2 и М3 третьей ступени

Пункт, точка	М, мм	Мх, мм	Му, мм
Т2	7,8	4,2	6,6
М4	13,7	8,7	10,5
М5	14,3	9,6	10,6
М6	13,1	9,5	9,0

Если по производственной необходимости потребуются дальнейшее сгущение обоснования, например, определение координат пункта Т3 (шестая ступень) при указанной выше точности измерений, то СКО полученных координат будут достигать величин $M = 14,7$ мм, $M_x = 9,4$ мм и $M_y = 11,3$ мм. Такие величины СКО будут соответствовать требованиям только при разбивке отдельных конструктивных элементов сооружения, например, установки фундаментов стаканного типа, опалубки под бетонные работы, монтажа подземных коммуникаций и т.д.

Необходимо выполнить математическую обработку схемы № 2 сгущения внешнего обоснования (рис.3) с помощью синтезированного (МНК) алгоритма [14] со следующими условиями оценки точности:

- без учета влияния ошибок исходных данных пунктов П1, П2 и П3 (учитывается влияние только случайных ошибок измерений $m_B = 2,0''$ и $m_S = 2,0$ мм);
- с учетом совместного влияния ошибок исходных данных пунктов П1, П2 и П3 (ошибка в положении каждого пункта равна $m_{и.д.} = 3,0$ мм) и случайных ошибок измерений ($m_B = 2,0''$ и $m_S = 2,0$ мм).

Результаты оценки точности при совместном уравнивании схемы № 2 приведены в табл.5, из которой следует, что с учетом влияния ошибок исходных пунктов П1, П2 и П3 величины СКО положения определяемых пунктов в сети будут примерно в два раза больше, чем без их учета и для конечного пункта Т3 $M = 11,5$ мм.

Таблица 5

Ведомость оценки точности положения пунктов сети № 2 по результатам ее совместного уравнивания

Пункт, точка	Оценка с учетом влияния только случайных ошибок измерений ($m_B = 2,0''$ и $m_S = 2,0$ мм)			Оценка с учетом влияния случайных ошибок измерений ($m_B = 2,0''$ и $m_S = 2,0$ мм) и исходных данных ($m_{и.д.} = 3,0$ мм)		
	М, мм	Мх, мм	Му, мм	М, мм	Мх, мм	Му, мм
Т1	1,2	0,5	1,1	3,4	1,9	2,8
М1	2,3	1,2	2,0	6,1	4,0	4,5
М2	2,4	1,7	1,7	6,0	3,6	4,8
М3	2,4	1,3	2,0	6,3	4,3	4,6
Т2	2,9	1,4	2,5	7,7	3,5	6,9
М4	3,8	1,8	3,3	9,7	5,1	8,3
М5	4,0	2,2	3,4	10,4	6,1	8,4
М6	3,7	2,3	2,9	9,2	6,1	6,9
Т3	4,6	1,8	4,2	11,5	4,8	10,4



В то же время это свидетельствует об искусственном уменьшении ошибок положения пунктов при поэтапном построении сети на промплощадке, поскольку в этом случае, в результате поэтапного накопления ошибок исходных данных на каждой ступени (в нашем случае их шесть), СКО положения пункта ТЗ оказались равными 14,7 мм. Эта величина и будет отражать действительную ошибку его положения на промплощадке.

Заключение. В результате выполненного анализа схем создания внешнего планового обоснования на промплощадке способом обратной линейно-угловой засечки и полярных координат можно сделать следующие выводы:

- если при создании планового обоснования промплощадки не учитывать значения ошибок исходных данных пунктов первой его ступени и выполнять их совместное уравнивание, то СКО определения координат всех пунктов будут искусственно уменьшены более чем в два раза по сравнению с их фактически получаемыми величинами;
- так как сгущение планового обоснования промплощадки выполняется последовательно несколькими ступенями, то при этом происходит увеличение (накопление) величин ошибок исходных данных каждой ступени, что приводит к увеличению фактических значений СКО положения пунктов этого обоснования;
- вследствие этого величины СКО определения координат пунктов обоснования каждой ступени являются уменьшенными по сравнению с их фактическими значениями;
- для объективной оценки полученных величин СКО определения координат пунктов внешнего обоснования необходимо последовательно учитывать значения ошибок исходных данных всех предыдущих ступеней;
- согласно исследованиям, для проведения разбивочных работ (при $m_S = 2,0$ мм и $m_B = 2,0''$) с использованием пунктов внешнего обоснования (при $m_{и.д} = 2,0-3,0$ мм) можно выполнять сгущение до третьей ступени. В этом случае обоснование может использоваться для выполнения связи с внутренней разбивочной сетью (связи двух видов точности инженерно-геодезических построений), обеспечения межосевых связей сооружения, а также для выполнения разбивочных работ под установку колонн;
- при дальнейшем сгущении обоснования до шестой ступени полученные величины СКО положения пунктов будут удовлетворять требованиям разбивочных работ только для установки фундаментов стаканного типа, опалубки под бетонные работы, монтажа подземных коммуникаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афонин Д.А.* Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной территории // Геодезия и картография. 2011. № 9. С. 16-22.
2. Влияние положения визирной цели – отражательной марки на точность измерений по схеме обратной линейно-угловой засечки / И.В.Горяинов, А.А.Кодиров, А.А.Шевчук и др. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 3. С. 29-35.
3. *Горяинов И.В.* О наилучшей конфигурации обратной линейно-угловой засечки и необходимом количестве пунктов для достижения заданной точности // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 4. С. 41-47.
4. *Горяинов И.В.* Экспериментальные исследования применения обратной линейно-угловой засечки для оценки стабильности пунктов плановой деформационной геодезической сети // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2018. Т. 23. № 1. С. 28-39.
5. *Зайцев А.К.* Исследование точности передачи координат и высот на монтажные горизонты построением сети обратных линейно-угловых засечек / А.К.Зайцев, И.В.Горяинов, А.А.Шевчук // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2018. Т. 62. № 3. С. 271-276. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-3-271-276
6. *Клюшин Е.Б.* Создание плановой разбивочной сети на монтажном горизонте при строительстве зданий повышенной этажности / Е.Б.Клюшин, Е.П.Власенко, М.З.Э.Ш.Заки // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2009. № 5. С. 48-54.
7. *Лютц А.Ф.* Разбивка крупных сооружений. М.: Недра, 1969. 242 с.
8. *Михелев Д.Ш.* Координатный метод разбивочных работ в строительстве / Д.Ш.Михелев, В.А.Шлепы, Ю.Д.Михелев // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2000. № 1. С. 17-21.
9. *Неволин А.Г.* К вопросу о влиянии ошибок исходных данных на точность определения геометрических параметров технологического оборудования / А.Г.Неволин, Т.М.Медведская // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2019. Т. 24. № 1. С. 16-27. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-16-27
10. *Никонов А.В.* Исследование влияния стабильности положения геодезической основы на точность обратной линейно-угловой засечки / А.В.Никонов, И.Н.Чешева, Г.В.Лифашина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Международный научный конгресс и выставка: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Сб.



материалов в 2 т., 8-18 апреля, 2014, Новосибирск, Россия. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2014. Т. 1. С. 63-70.

11. *Никонов А.В.* К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Международный научный конгресс: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Сб. материалов в 3 т., 15-26 апреля, 2013, Новосибирск, Россия. Новосибирск: Сибирская государственная геодезическая академия, 2013. Т. 1. С. 93-100.

12. *Никонов А.В.* О точности построения планово-высотной геодезической разбивочной основы наземными методами / А.В.Никонов, И.Н.Чешева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Международный научный конгресс: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Сб. материалов в 9 т., 24-26 апреля, 2019, Новосибирск, Россия. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2019. Т. 1. С. 130-143. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-130-143

13. *Никонов А.В.* Проблема актуализации СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. № 4. С. 9-19. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-946-4-9-19

14. *Падве В.А.* Математическая обработка и анализ результатов геодезических измерений: в 2 ч. Ч. 2. Синтезированные и комбинированные алгоритмы точности МНК-оптимизации и анализа результатов измерений. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2018. 135 с.

15. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики / Г.Г.Китаев, Г.А.Уставич, А.В.Никонов, В.Г.Сальников // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № S4. С. 48-54.

16. *Сытник В.С.* Строительная геодезия. М.: Недра, 1974. 136 с.

17. *Шеховцов Г.А.* Об оценке точности обратной линейно-угловой засечки при передаче координат на монтажные горизонты при строительстве зданий повышенной этажности // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 3. С. 275-281. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-3-275-281

18. *Яндров И.А.* Некоторые аспекты применения координатного метода разбивочных работ в строительстве // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2004. № 5. С. 41-47.

19. *Cranenbroek J.* State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Dams // Сиббезопасность-Спасиб. 2012. № 1. Р. 169-185.

20. *Gutov S.S.* Automated Satellite System for Strain Monitoring at the Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Plant. Practical Experience in its Introduction / S.S.Gutov, V.T.Li // Power Technology and Engineering. 2015. Vol. 49. № 4. Р. 252-257. DOI: 10.1007/s10749-015-0610-6

Авторы: *Г.А.Уставич*, д-р техн. наук, профессор, ustavich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9288-3434> (Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия), *А.Г.Неволин*, канд. техн. наук, доцент, agentagn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8756-2692> (Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия), *В.А.Падве*, канд. техн. наук, доцент, evdarav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3865-474X> (Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия), *В.Г.Сальников*, канд. техн. наук, заведующий кафедрой, salnikov@ssga.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1188-1750> (Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия), *А.В.Никонов*, канд. техн. наук, доцент, sibte@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6302-9626> (Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.06.2020.

Статья принята к публикации 21.05.2021.